National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

EFFET DE LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT SUR LES BÂTIMENTS

par G. Robinson et M.C. Baker

Prix 75 cents

Ottawa, mars 1982

NRCC 14792F

Canada

La présente publication fait partie d'une série de rapports établis par la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada. Toute reproduction ou adaptation en est interdite sans l'approbation écrite de la Division, à moins qu'il s'agisse de passages extraits pour fin de compte rendu ou de critique.

On peut se procurer des exemplaires de cette publication ainsi que des autres publications de la Division en envoyant par la poste le paiement approprié (mandat bancaire, exprès ou postal, ou chèque au nom du Receveur général du Canada, au crédit du Conseil national de recherches du Canada) à la Section des publications de la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, K1A 0R6. Les timbres ne sont pas acceptés.

On peut obtenir sur demande une liste des publications de la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada en s'adressant à la Section des publications de la Division.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

DIVISION DES RECHERCHES EN BÂTIMENT

EFFET DE LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT SUR LES BÂTIMENTS

par

G. Robinson et M.C. Baker

Document technique n°445
de la
Division des recherches en bâtiment

OTTAWA

mars 1982

LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT ET LES ÉDIFICES

par G. Robinson et M.C. Baker

RÉSUMÉ

Le présent article est une étude de l'altération des édifices fondée sur une recherche bibliographique et sur des observations d'édifices à Ottawa (Canada) par des étudiants en architecture employés par la Division des recherches en bâtiment durant l'été 1969 et l'été de 1973. Les auteurs examinent des renseignements sur la pluie poussée par le vent, le dépôt de la pluie sur les édifices, le mouvement de l'eau sur les surfaces d'un édifice et l'altération de leur apparence par les marques de saleté. Les auteurs proposent également des moyens de contrôler l'écoulement de l'eau sur les surfaces d'un édifice et d'éliminer ou de cacher les marques de saleté.

WIND-DRIVEN RAIN AND BUILDINGS

by G. Robinson and M.C. Baker

ABSTRACT

This is a discussion of the weathering of buildings, based on a literature survey and observations of buildings in Ottawa, Canada, by architectural students employed by the Division of Building Research during the summers of 1969 and 1973. Information on driving rain, how rain is deposited on buildings, how water migrates over building surfaces and brings about changes in their appearance as a result of dirt marking are dealt with. The paper also offers suggestions for controlling run-off from building surfaces and for avoiding or masking the dirt-marking problem.

PRÉFACE

Au cours de l'été 1969 la Division des recherches en bâtiment a pu profiter des services de M. Roy W. Willwerth, étudiant en architecture au Collège technique de la Nouvelle-Écosse. Pendant son stage à la Section de la conception du Groupe pratique du bâtiment*, M. Willwerth a étudié sur le terrain les dépôts de pluie, les mouvements de l'eau et les marques de saleté sur les bâtiments. Il a également recueilli une grande quantité de renseignements qui n'ont pas été publiés.

À l'été de 1973, la Division a de nouveau accueilli un étudiant en architecture, cette fois de l'université du Manitoba, M. Gordon Robinson, qui a poursuivi les travaux entrepris par M. Willwerth et les a étendus à l'analyse des dossiers météorologiques.

Les deux étudiants ont reçu une aide considérable des membres de la Division des recherches en bâtiment, notamment de MM. D.W. Boyd, G.K. Garden et J.K. Latta. Le ministère de l'Environnement à Downsview a collaboré au projet en extrayant les données météorologiques des dossiers informatiques, sous une forme appropriée à la présentation graphique des résultats. M. Robinson a, en outre, obtenu le concours de M. H. Jackson, du Département d'architecture paysagiste de l'Université du Manitoba, pour tracer les infographes à partir des données météorologiques.

Le présent document a été préparé et rédigé par M. M.C. Baker, chef de la Section de conception et d'usage des bâtiments*, sous la direction duquel les deux étudiants ont travaillé.

Nous espérons que cette publication stimulera l'intérêt pour cet aspect particulier de la conception des bâtiments et qu'elle mènera à des études plus poussées sur les questions liées à l'écoulement des eaux et à l'apparition de taches de saleté sur les surfaces extérieures des bâtiments.

Ottawa
Janvier 1982

Le directeur
C.B. Crawford

---

*Maintenant la Section de la performance des bâtiments

EFFET DE LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT SUR LES BÂTIMENTS*

par

G. Robinson et M.C. Baker

Dans la nature, les matériaux se détériorent continuellement sous l'effet de divers phénomènes physiques, chimiques et biologiques envisagés comme normaux. On ne se rend cependant pas compte, en règle générale, que les matériaux de construction sont soumis à la même action destructive. En effet, aucun matériau n'est, en lui-même, durable ou non durable ; même la pierre, que l'on considère très résistante, est dégradée, avec le temps, par les forces de l'environnement. C'est l'interaction des matériaux et de leur environnement qui détermine leur durabilité.

Le projeteur de bâtiment doit choisir les matériaux et les agencer en éléments de construction (murs, fenêtres, toitures, etc.) de façon à maîtriser la fonction, le matériau et l'action de l'environnement pour entraver la détérioration naturelle et s'assurer que l'enveloppe du bâtiment remplisse convenablement sa fonction pendant un espace de temps raisonnable. Pour tout matériau ou élément, cette période peut être plus justement appelée "la durée de service".

Il fut un temps où le recours à des techniques conventionnelles, transmises de génération en génération, permettait de prévoir les effets du temps et des intempéries sur le bâtiment. Les seules difficultés provenaient d'un manque de connaissance ou d'une exécution maladroite. De nos jours, les concepteurs doivent choisir parmi un vaste assortiment de nouveaux matériaux ou d'anciens matériaux utilisés de façon inédite et tenir compte des changements de l'environnement. Ils ne peuvent plus s'appuyer sur des règles établies pour combiner les matériaux en éléments et détails de construction.

Les édifices classiques, caractérisés généralement par de larges corniches, des cordons et des détails massifs, vieillissaient souvent avec grâce. Les architectes modernes cependant, tendent à considérer tous ces éléments comme purement décoratifs. Cette attitude est sans doute née vers le début du dix-neuvième siècle. En 1808, Adolf Loos a publié un article intitulé "Ornement et crime", dans lequel il s'érigeait contre la décoration des édifices (1). Cet article, ainsi que d'autres opinions du genre émises à l'époque, semble être à l'origine de l'abolition de l'ornementation architecturale et du dépouillement qui persiste jusqu'à ce jour. La plupart des architectes conçoivent maintenant des surfaces nues, sans aucun ornement, bien que, malheureusement, beaucoup de ces surfaces vieillissent très mal.

---

*Cette publication est la version française de "Wind-Driven Rain and Buildings", Technical Report No. 445, NRCC 14792

Nous ne suggérons pas que les concepteurs reviennent à une décoration appliquée, mais il est important de reconnaître que, dans certains cas, les éléments de conception classique jouaient un rôle dans la résistance aux intempéries et le lent vieillissement des édifices. En 1934, Auguste Perret, chef de file de l'architecture à ossature de béton armé, a déclaré, en réponse à un questionnaire intitulé "Pour ou contre l'ornement" : "Rendons à nos édifices les organes nécessaires à leur défence contre les intempéries : corniches, bandeaux, chambranles, moulures qui font que sous le ruissellement de la pluie la façade reste ce que l'artiste a voulu qu'elle soit."(2)

Cette phrase ne fait que souligner l'importance de comprendre le rôle des éléments et des détails de construction pour contrer l'effet des intempéries. Malheureusement, de nombreux projeteurs ne sont pas encore suffisamment conscients de l'action des forces de la nature sur leurs oeuvres et ne peuvent prévoir avec certitude les résultats de leurs décisions conceptuelles.

Une des principales fonctions d'un bâtiment est d'enclore un espace donné afin de lui procurer un microclimat différent des conditions ambiantes. Une enveloppe de matériaux isole l'espace et règle l'écoulement de masse et d'énergie, comme la chaleur et l'humidité, dans l'enceinte. Les concentrations varient à travers la paroi du mur et selon les propriétés des matériaux et leur emplacement. L'action du vent, des précipitations et des matières polluantes de l'air du milieu environnant est également influencée par la forme du bâtiment, ainsi que par la nature et la position des matériaux.

L'eau contribue pour une grande part à la détérioration des bâtiments. Elle est à l'origine de phénomènes destructifs comme les variations dimensionnelles, la corrosion, la détérioration organique, le lessivage, les efflorescences et le gel. La pénétration de l'eau dans les matériaux et la saturation de ces derniers peuvent entraîner un abaissement de leur résistance thermique, et, dans les cas extrêmes, l'humidité qui traverse la paroi interne peut endommager le contenu du bâtiment et tacher ou gâter les revêtements intérieurs. Le ruissellement de l'eau sur les surfaces extérieures, les murs par exemple, produit un lessivage ou des dépôts de saleté à certains endroits. L'apparence des façades en souffre habituellement, et souvent les matériaux sont sérieusement détériorés, voire complètement détruits.

Ainsi, l'une des principales préoccupations de la conception des éléments de construction, tels que les murs et les fenêtres, est d'empêcher la pénétration de l'eau de pluie et de diriger le ruissellement des eaux sur les surfaces. Des changements visibles surviennent lorsque les polluants de l'air se combinent au vent et à la pluie. L'effet de ceux-ci varie selon les matériaux, la géométrie de la façade et le profil des détails. De même, l'écartement de la pluie ou l'accumulation non recherchée des eaux sur les murs sont déterminés par le relief des surfaces. Nous traiterons de la nature des pluies poussées par le vent, de leur

dépôt et de leur migration sur les façades et de leurs effets sur le vieillissement des matériaux.

PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT

Nous définirons la pluie poussée par le vent comme une pluie qui, entraînée par le mouvement de l'air, frappe les surfaces verticales des bâtiments. Comme la plupart des tempêtes de pluie s'accompagnent de vent, les murs orientés au vent sont les plus exposés. Le dépôt et l'écoulement des eaux pluviales sont donc influencés par l'exposition aux pluies poussées par le vent et les variations directionnelles de celles-ci. Les courants et les pressions d'air contribuent à la pénétration de l'eau de pluie. Les matériaux, les détails de construction et la qualité d'exécution jouent aussi un rôle, mais même des murs mal finis et mal construits s'avèrent satisfaisants la plupart du temps. Cependant, ils occasionneront presque à coup sûr des problèmes pendant des périodes prolongées de pluies battantes.

Les problèmes découlant de l'exposition aux éléments sont plus graves dans certaines parties du Canada que dans d'autres. Le degré d'exposition varie en outre selon l'orientation et la période de l'année. Il est donc nécessaire d'analyser les données météorologiques pour obtenir des renseignements sur l'exposition à la pluie et afin de convertir cette information sous une forme utile aux projeteurs.

L'étude des pluies poussées par le vent n'est pas une entreprise récente. Déjà en 1870, on disposait en Grande-Bretagne de pluviomètres autonomes conçus pour mesurer l'inclinaison des précipitations. Lacy (3) a résumé l'évolution plus récente de ces pluviomètres et des méthodes utilisées pour enregistrer les chutes de pluie sur les bâtiments. En 1948, il a démontré l'effet coupe-vent d'un bâtiment en mesurant, sur une période de huit mois, la hauteur d'eau des précipitations reçues sur une surface entourant une maison et de même superficie que cette dernière ; le niveau des précipitations à cet endroit s'est révélé inférieur à la normale (4).

Dans une étude plus étendue sur les variations d'intensité des pluies poussées par le vent dans les îles Britanniques, Lacy et Shellard ont observé que la quantité horaire de pluie sur une surface horizontale (précipitation normale au sol) multipliée par la vitesse du vent, dont la direction a été ramenée à la normale par rapport à la surface d'un mur donné, était proportionnelle à la récolte quotidienne des pluviomètres placés sur ce mur. Comme ils ne disposaient pas de renseignements horaires détaillés pour l'ensemble du pays, Lacy et Shellard ont proposé d'utiliser le produit de la vitesse annuelle moyenne du vent multipliée par la quantité annuelle moyenne des précipitations comme un indice simple des pluies poussées par le vent. Ils ont ensuite établi une carte de la répartition des indices pour les îles Britanniques (5). En 1963, Boyd (6) a préparé une carte analogue du Canada (figure 1),

pour le compte de la Commission de travail sur la pénétration de la pluie du Conseil international du bâtiment (CIB). Des indices basés sur les relevés mensuels ou quotidiens seraient sans doute encore plus utiles.

Lacy et Shellard (5) ont établi une autre carte des îles Britanniques, où des roses des vents indiquent les pourcentages de l'indice global des pluies poussées par le vent répartis entre huit directions magnétiques. Pour le Canada, peu de renseignements graphiques sur cet aspect de la météorologie ont été publiés, bien que l'information soit disponible sous forme de tableaux. Ceux-ci ont donc été étudiés et analysés, et nous présentons une partie des résultats sous forme graphique. Ce travail a d'abord été effectué pour Toronto, en utilisant les données relatives à l'aéroport international de cette ville (figures 2 à 7) ; pour fins de comparaison, on a ensuite repris un des graphiques pour six autres villes du Canada : Saint-Jean (T.-N.), Dartmouth, Ottawa, Winnipeg, Edmonton et Vancouver (voir annexe A).

Les graphiques sont fondés sur les données obtenues des registres météorologiques du ministère de l'Environnement à Downsview. Les valeurs extraites à l'aide de l'ordinateur englobent la fréquence, la direction et la vitesse du vent pendant les pluies et les pluies verglaçantes. Les totalisations, qui couvrent une période de 16 à 20 ans, donnent la fréquence du vent pendant la pluie, pour une direction et une fourchette de vitesse données en fonction de chaque mois de l'année. Nous n'avons pas réduit le champ d'étude à une période unique de collecte parce que nous visions simplement à illustrer le rapport entre la vitesse et la direction du vent, au cours de l'année, pour des villes déterminées. Ces données n'ont pas pour objet la comparaison quantitative de l'intensité du vent et de la pluie d'une ville à une autre. On peut toutefois obtenir une indication générale de la sévérité relative des conditions climatiques dans les différentes villes en comparant la fréquence et l'intensité des vents chargés de pluie pendant les années observées.

Les graphiques montrant la fréquence des vents pluvieux selon des directions précises ont été tracés pour les sept villes à l'aide d'un programme infographique. Ce programme, appelé "GRID", a été exécuté à l'université du Manitoba, au Département d'architecture paysagiste. Ces graphiques indiquent la vitesse horaire et la direction du vent pendant la pluie, sans égard à l'intensité des précipitations. Le graphique pour la ville de Toronto est présenté à la figure 2 ; les graphiques des autres villes se trouvent à l'annexe A. En examinant les graphiques des sept villes, on se rend compte que chacune d'elles connaît, pendant l'année, des conditions dominantes variées. Le graphique de l'indice des pluies poussées par le vent pour l'aéroport international de Toronto (figure 3) est assez semblable au graphique de la fréquence des directions du vent.

La figure 4 montre la fréquence, en fonction de la direction, des vents accompagnés de pluie dont la vitesse est

supérieure à 19 milles à l'heure, pour la ville de Toronto. Ainsi, il semble que la fréquence des grands vents avec précipitations se répartit approximativement de la même façon que celle de l'ensemble des vents accompagnés de pluie (figure 2).

La figure 5 montre, pour Toronto, la fréquence des vents accompagnés de pluie en fonction de leur vitesse. Le classement a été établi de la façon suivante : de 0 à 9 milles/h, de 10 à 19 milles/h, de 20 à 29 milles/h et plus de 30 milles/h. Ce graphique indique que 47 pour cent des vents pluvieux ont une vitesse inférieure à 10 milles/h, que 92 pour cent ont une vitesse inférieure à 20 milles/h et que 99 pour cent ont une vitesse inférieure à 30 milles/h.

On a effectué une analyse approfondie à Toronto, pour huit directions magnétiques, du rapport entre la fréquence des vents de différentes vitesses et leur direction (figure 6). La figure 6 est essentiellement le résultat de la combinaison de la figure 2, c'est-à-dire la fréquence des vents dans des directions données, et de la figure 5, qui illustre la fréquence des vents en fonction de leur vitesse. Cette analyse a permis de déterminer que les directions les plus fréquentes (91 pour cent des cas) des vents pluvieux de moins de 20 milles/h s'étendent de l'est au sud-ouest en passant par le sud. En raison de la méthode utilisée pour réduire les données de seize à huit directions magnétiques, il apparait de légers écarts entre les pourcentages globaux indiqués pour chaque classe de vitesse dans les graphiques des figures 5 et 6.

La fréquence des vents pendant la pluie et l'indice des pluies poussées par le vent pour Toronto, tels qu'indiqués aux figures 2 et 3, ont été totalisés pour l'année en fonction de chaque direction, puis convertis en pourcentages et inscrits dans une rose des vents. À titre de comparaison, on a aussi tracé une rose des vents pour les vents à toute heure (figure 7). Il y a une ressemblance marquée entre la rose de fréquence des vents pendant la pluie et la rose de l'indice des pluies poussées par le vent, ressemblance déjà évidente dans les graphiques desquels elles sont dérivées. Par contre, ces roses diffèrent nettement de celle des vents à toute heure, ce qui était à prévoir, puisque les précipitations sur une ville donnée peuvent être plus fréquentes en présence de certaines combinaisons de conditions atmosphériques.

Toutes ces roses montrent des pourcentages de fréquence élevés qui se rapprochent d'assez près de celui de la plus haute fréquence, signalant ainsi les limites du concept de "conditions dominantes", du point de vue du projeteur de bâtiment. La valeur des roses des vents est également restreinte, puisqu'elles sont fondées sur une moyenne annuelle, qui ne tient pas compte des variations importantes dans les conditions dominantes au cours d'une année.

Cette analyse de la coïncidence du vent et de la pluie, et la présentation graphique des résultats constituent un premier pas

dans un domaine qui demande à être défriché. Les tableaux des données recueillies aux stations météorologiques ont souvent besoin d'être traités de façon beaucoup plus poussée pour être utiles aux projeteurs. À l'aide de l'ordinateur, il est possible d'extraire les données sous plusieurs formes, mais celles-ci seraient sans doute encore plus valables présentées sous une forme graphique, qui révélerait l'importance de certains facteurs météorologiques. Il y a un besoin d'information sur les effets simultanés et cumulatifs de nombreux éléments météorologiques. Un projeteur qui travaille à la réalisation d'un centre commercial, par exemple, peut avoir besoin de connaître l'interaction, sur une base mensuelle, des vents, de l'ensoleillement, de la température et des précipitations, ainsi que les exigences minimales en matière de confort, en vue de concevoir un milieu adéquatement protégé. Olgyay (7) présente une bonne introduction à cet aspect de la conception dans Design With Climate. Plus récemment, Lacy (8) a proposé des méthodes précises d'analyse et de présentation des données météorologiques à variables multiples.

Les données présentées dans ce rapport sont incomplètes. Les cartes à petite échelle, comme celle de la figure 1, ne donnent pas les variations d'intensité imputables à des particularités locales, qui augmentent ou diminuent l'exposition. En outre, les données présentées dans les graphiques, relatives à un emplacement donné, peuvent rarement être apliquées aux localités environnantes. Par ailleurs, il est possible qu'un indice annuel d'exposition, établi à partir des moyennes des vents et des précipitations, soit inadéquat à l'échelle continentale. Il a été suggéré que, si cet indice reflète parfois avec assez d'exactitude les conditions qui se manifestent durant les plus violentes tempêtes dans les régions à climat marin tempéré, il ne s'applique sans doute pas toujours. Selon Lacy (3), un indice des pluies poussées par le vent calculé pour des tempêtes particulières et des renseignements sur la fréquence de ces tourmentes donneraient probablement une meilleure indication de l'exposition dans les régions à climat continental. Il semble nécessaire de combiner les études du macroclimat, du climat autour du bâtiment et des microclimats qui agissent sur les matériaux pour pouvoir évaluer pleinement les problèmes de détérioration.

L'indice de fréquence et d'intensité des pluies poussées par le vent a pour objet de fournir au projeteur un outil de comparaison de l'exposition à un endroit quelconque par rapport à l'exposition d'un emplacement qu'il connaît déjà. Si l'exposition est grande, un soin particulier devra être apporté dans le choix des techniques de construction et le détail des surfaces. Divers matériaux et méthodes peuvent être utilisés selon le degré d'exposition, comme c'était l'usage pour les premières constructions en maçonnerie érigées en Amérique du Nord ; lorsque la maçonnerie se révélait incapable d'empêcher la pénétration de l'eau, ou ajoutait souvent sur les surfaces les plus exposées un parement de planches.

Il est peu probable, cependant, que les matériaux et les méthodes de construction puissent être entièrement déterminés par les conditions atmosphériques. Une analyse des données météorologiques au Canada a démontré que l'exposition aux pluies battantes est possible de tous les côtés. En outre, la pénétration de l'humidité dans les murs peut se produire, et se produit effectivement, dans des conditions moins extrêmes de température, lorsque, par exemple, les détails ont été mal pensés, que les matériaux sont de mauvaise qualité ou que l'exécution est défectueuse. Toutefois, même des murs de conception médiocre ne présenteront souvent de difficultés que dans les cas d'exposition importante.

La variation d'exposition indiquée par les graphiques de pluies poussées par le vent peut constituer une information précieuse dans l'évaluation des besoins de protection des ouvrages extérieurs connexes aux bâtiments, comme les mails, les terrains de jeux ou les balcons. Cette connaissance peut également aider les chercheurs à déterminer les conditions d'essai des matériaux et des types de construction muraux.

DÉPÔTS DE PLUIE

Le dépôt des précipitations sur les surfaces ou sur les éléments en saillie des bâtiments est influencé par le vent et la nature de la pluie. Lorsque le vent frappe un bâtiment rectangulaire isolé, ou considérablement plus haut que les constructions voisines, le courant aérien se divise à peu près au niveau du tiers supérieur de ce bâtiment. Une partie du courant s'élève le long de la façade et passe par-dessus le toit ; une autre partie s'écoule vers les côtés pour contourner les coins supérieurs situés du côté du vent ; le reste du courant s'écoule vers le bas, forme un tourbillon à l'avant de l'édifice et balaie les coins inférieurs de la façade au vent. Ce profil d'écoulement décrit par Wise (9) est illustré au schéma de la figure 8.

Les gouttes de pluie sont d'abord déviées par le courant général et ensuite par les courants d'air qui passent au-dessus et autour du bâtiment. La grosseur des gouttes et l'angle de chute semblent avoir une incidence sur le dépôt de la pluie. Couper (10), étudiant ce phénomène, a observé un angle moyen de chute de 40 degrés par rapport à la verticale pour toutes les grosseurs de gouttes dans un vent à cours libre. Les gouttes doivent traverser les courants d'air engendrés par le bâtiment pour atteindre les murs ou les éléments en saillie. Les petites gouttes, dont la force d'impulsion par unité d'aire de coupe est inférieure, sont plus facilement éloignées du bâtiment par les courants aériens que ne le sont les grosses gouttes.

La direction du courant aérien change brusquement au sommet et sur les côtés de la façade au vent, ce qui entraîne la compression des lignes de courant et concentre le champ de pluie. On pense que les gouttes transportées par le courant ne suivent pas

ce changement de direction, et qu'elles vont plutôt frapper la face du bâtiment, produisant ainsi une humidification concentrée aux extrémités exposées. Ceci expliquerait l'humidification des coins au vent, des parapets et des corniches, ainsi que des éléments en saillie comme les colonnes et les appuis de fenêtre. La figure 9 reproduit les profils d'écoulement autour et au-dessus des bâtiments, ainsi que les trajectoires probables des gouttes de pluie, tels que décrits par Martin (11). La figure 10 présente un profil analogue d'écoulement de l'air et du champ de pluie pour une saillie verticale, d'après Couper (10).

Les figures 8 et 9 illustrent le type le plus simple d'exposition, celle d'un bâtiment rectangulaire à un vent frontal. Les conditions réelles d'exposition au cours d'une averse donnée varient selon la direction de la pluie battante, l'emplacement du bâtiment par rapport à d'autres, et le relief des surfaces. Ces facteurs crèent des courants complexes, qui ont un effet considérable sur l'intensité de la pluie et la quantité d'eau qui frappe le bâtiment.

Plusieurs aspects doivent être pris en considération. La quantité totale de pluie déposée sur un mur est très inférieure à la quantité d'eau contenue dans la masse d'air qui s'approche de l'édifice. Les recherches indiquent que le rapport pourrait approcher 2:1. En outre, le dépôt de pluie sur la face d'un édifice n'est pas uniforme. En raison de la déviation du vent et de la pluie, les dépôts sont habituellement beaucoup plus importants à la partie supérieure et sur les côtés de la face exposée que sur le reste du mur. La pluie qui ne frappe pas le mur, et les gouttes d'eau qui en sont écartées par des saillies horizontales semblent tomber verticalement à proximité du mur ; seule une très faible quantité d'eau est resoufflée sur le mur lorsque la vitesse du vent est inférieure à environ 15 milles à l'heure.

La figure 11 montre l'humidification type d'un mur exposé à la pluie poussée par le vent, telle que proposée par Couper (10). L'emplacement des dépôts concentrés de pluie sur la façade ne devrait pas changer au cours d'une tempête, si la direction et la vitesse du vent demeurent relativement constantes. Au début d'une tempête de pluie, seuls la partie supérieure et les côtés de la façade exposée au vent sont mouillés ; ce qui se produit ensuite dépend de la nature du matériau. L'eau déposée sur les surfaces poreuses, béton, brique, crépis ou pierre, est d'abord absorbée, mais aussitôt que le matériau a atteint sa limite d'absorption, elle commence à s'écouler le long du mur. Sur les surfaces non poreuses comme le métal et le verre, l'eau s'écoule presque immédiatement le long du mur.

La saturation superficielle des matériaux poreux se manifeste habituellement par un assombrissement de la teinte, qui permet d'observer l'humidification progressive du mur et la concentration de l'écoulement sur la façade. On a étudié ce phénomène sur la surface de plusieurs édifices de la ville

d'Ottawa. La figure 12 montre les diverses étapes d'humidification d'un édifice dont le revêtement est fait de panneaux de béton prémoulés, à granulat apparent. Les dépôts d'eau se sont concentrés à la partie supérieure de l'édifice, bien que toute la façade au vent et une portion des autres murs aient dû recueillir une certaine quantité de pluie. Après 10 minutes, le profil caractéristique de l'humidification par la pluie se dessine. L'écoulement de l'eau le long de la façade de l'édifice semble avoir commencé après 20 minutes environ. La pluie a cessé après 40 minutes ; à ce moment, l'humidification des faces au vent avait progressé vers le bas sur près de trois étages de l'édifice, qui en compte quatorze.

En cas de vent et de pluie intenses, il se peut que la face entière de l'édifice soit humidifiée par le contact direct de la pluie. Si l'averse continue assez longtemps, l'eau qui s'écoule sur l'édifice humidifie toute la surface et s'accumule vers le bas. Après une longue averse, la façade peut présenter des zones humides aux étages inférieurs et des zones sèches aux étages supérieurs, en contraste avec le profil d'humidification qui caractérise les tempêtes de courte durée.

La figure 13 montre les effets d'une exposition accrue d'une partie du même édifice à Ottawa, imputable aux modifications de l'écoulement de l'air provoquées par les constructions voisines. L'espace libre entre cet édifice et un bâtiment adjacent de quatre étages a créé un effet de tunnel, qui semble avoir forcé l'air à s'écouler à contre-courant le long du coin situé sous le vent et qui a entraîné une humidification concentrée à cet endroit.

La figure 14 montre l'influence des formes architecturales, plus particulièrement l'effet protecteur des saillies, dans le cas d'un autre édifice d'Ottawa. L'averse a duré suffisamment longtemps pour humidifier complètement les surfaces exposées et non protégées de l'édifice. Les saillies ont réduit l'exposition des surfaces verticales situées au-dessous, et une assez grande zone du mur est demeurée sèche.

ÉCOULEMENT DE L'EAU

Il est nécessaire de comprendre les lois d'écoulement de l'eau sur les surfaces si l'on désire réduire ou éliminer la pénétration d'humidité, l'apparition de taches de saleté et la détérioration des éléments du bâtiment. Lorsqu'une goutte de pluie vient frapper la surface d'un bâtiment et se disperse en gouttelettes, quelques-unes peuvent rejaillir sur les parties voisines ou pénétrer à nouveau dans le champ de pluie ; d'autres peuvent pénétrer dans le mur par les fissures et les joints ; d'autres encore peuvent demeurer sur la surface sous forme d'une fine pellicule ou de gouttelettes, qui seront absorbées par les pores du matériau ou qui produiront un ruissellement. Seule une faible quantité de l'eau qui frappe le mur peut ruisseler sur la surface ; le reste est absorbé, rejaillit ou dégoutte des éléments

en saillie. Toutefois, les éclaboussures seront minimes dans le cas d'une pluie légère, comme le sera l'absorption s'il s'agit de matériaux non poreux.

L'emplacement et la concentration des dépôts d'eau de pluie, les propriétés de l'eau en contact avec les matériaux, la tension superficielle, les forces du vent et les lois de la pesanteur, ainsi que la porosité, la rugosité et la géométrie du bâtiment : tous ces éléments agissent sur la migration de l'eau de ruissellement. On a démontré que les dépôts d'eau de pluie se concentrent à la partie supérieure et sur les côtés des faces exposées des édifices. La tension superficielle fait se combiner les gouttelettes d'eau sur les surfaces non poreuses, tels le verre et le métal, et les force à s'écouler en rigoles irrégulières. Elle permet aussi l'écoulement sur la face inférieure des surfaces horizontales et contribue à la concentration des filets d'eau aux angles aigus extérieurs.

Le débit d'écoulement altère la capacité de la pellicule de surface à adhérer à la face inférieure des saillies horizontales. On a observé de près ce mouvement sur un ressaut en granit lisse (figure 15). Lorsque le débit est faible, une pellicule d'eau s'écoule sur le bord, adhère au retour et se répand finalement sur la surface verticale au-dessous. Si le débit augmente, l'eau commence à dégoutter sous le ressaut. À un débit rapide, l'eau acquiert une impulsion suffisante pour rompre la tension superficielle à l'extrémité supérieure du ressaut et tombe librement.

Selon Baines (12), une couche d'air limite, dont l'épaisseur correspond à environ un dixième de la largeur du bâtiment, se forme contre les surfaces au vent au moment où le courant aérien principal se divise pour passer au-dessus et autour du bâtiment. Le mouvement de l'air dans la couche limite est faible, et son écoulement est influencé par la répartition de la pression sur la face de l'édifice, de telle sorte qu'un écoulement secondaire se développe le long de la surface de l'édifice dans la direction de gradient maximal de pression. Ainsi, les lignes tirées perpendiculairement aux contours de pression indiquent la direction de l'écoulement secondaire. La figure 16 illustre ce phénomène pour un simple cube en couche limite. À partir des répartitions de pression données par Chien (13), il est possible de déterminer les profils d'écoulement pour environ cinquante formes simples de bâtiments. L'étude a été faite à l'aide d'essais en soufflerie, où l'air était soufflé de façon uniforme sur toute la surface ; et les résultats de la figure 17 pour un cube simple s'éloignent quelque peu des conditions réelles de l'écoulement dans la couche limite, dont la vitesse est réduite à zéro au niveau du sol en raison du frottement de surface. La répartition de la pression sur un édifice varie constamment selon la direction et la vitesse du vent et la présence de rafales. Toutefois, l'effet du mouvement secondaire de l'air sur l'eau, qui, sur une surface verticale, tend à s'écouler vers le bas, est de produire un écoulement latéral et même ascendant de celle-ci.

L'eau qui s'écoule latéralement ou en diagonale vers le bas se concentre et forme des filets aux points de rencontre avec les saillies verticales. Le courant d'air secondaire engendré par le vent joue probablement un rôle très important dans la concentration du ruissellement aux coins extérieurs du bâtiment et des éléments de grandes dimensions, comme les colonnes, ainsi qu'aux coins intérieurs des saillies verticales. La tension de surface semble agir aussi, en empêchant l'eau de suivre le pourtour des petits éléments comme les meneaux des fenêtres, concentrant quelquefois l'eau dans les coins.

La porosité des matériaux influe sur l'humidification par l'eau qui se concentre en dépots ou qui ruisselle sous forme de pellicule ou en filets. Les matériaux très poreux absorbent plus l'eau et la conservent plus longtemps. La rugosité plus ou moins grande des matériaux agit sur la forme du ruissellement ; des filets irréguliers et concentrés ont tendance à apparaître sur les matériaux lisses ou légèrement rugueux, alors que sur les surfaces qui présentent un relief plus accentué, l'eau s'écoule plus uniformément.

La géométrie de la surface, définie par les saillies horizontales et verticales ou le relief des panneaux de revêtement, fournit le principal moyen de diriger le ruissellement de l'eau. Un ruissellement non maîtrisé occasionne le vieillissement inégal des surfaces, l'accumulation ou le lessivage de la saleté, le lessivage des produits de la corrosion ou des efflorescences, qui vont se déposer ailleurs, et la détérioration des matériaux due à la pénétration de l'humidité suivie du gel ou aux pressions de la cristallisation. L'examen de nombreux bâtiments au Canada indique qu'on ignore souvent ou qu'on connaît mal les mesures à prendre dans ce domaine.

Il est difficile de répertorier tous les détails architecturaux qui modifient l'écoulement des eaux, mais on peut établir quelques grandes catégories d'éléments en fonction de leurs effets sur le ruissellement de surface :

1) Les canaux continus sont formés par les saillies et les creux verticaux, qui arrêtent et recueillent l'eau qui ruisselle en diagonale sur une surface plane adjacente. La figure 18 illustre ce phénomène et offre des exemples de détails et d'éléments architecturaux qui appartiennent à cette catégorie. Les joints de la maçonnerie et des panneaux, les joints de dilatation et les joints de construction, les colonnes ou les piliers, les meneaux et les cadres de fenêtres, et les pointes décoratives ou les retraits sont compris dans cette catégorie.

2) Les plans continus se caractérisent par des combinaisons de surfaces horizontales, verticales et/ou inclinées qui permettent à l'eau de s'écouler sur les éléments, le long de ceux-ci ou en dessous, sans qu'elle dégoutte aux coins extérieurs horizontaux. La figure 19 offre des exemples types de cette catégorie, ainsi que des détails de façades. Les

membres exposés de l'ossature, les cadres et les appuis de fenêtres, et leur jonction avec la vitre, les couronnements dans l'alignement des murs, les dalles en porte-à-faux des balcons, ainsi que les pans de mur en saillie formant des sous-faces font partie de cette catégorie.

3) La troisième catégorie s'attache à la discontinuité des plans et à l'interruption des canaux, qui modifient le caractère du ruissellement. Ainsi, par exemple, l'eau concentrée dans un canal se dispersera sur une surface unie ; à l'inverse, l'eau qui ruisselle librement sera canalisée au contact d'une surface en relief. L'eau peut en outre se mettre à dégoutter là où les éléments continus se terminent. Les changements dans le mouvement de l'eau sont attribuables à la modification de l'ensemble des forces qui le régissent aux endroits où il se produit une rupture de plan, par exemple à l'extrémité d'une sous-face, à la base d'un meneau, ou au bord inférieur d'un larmier. La fonction du larmier, qui est un des principaux dispositifs pour écarter l'eau de pluie, est d'ailleurs souvent mal comprise. La figure 20 illustre cette catégorie de façon générale et à l'aide d'exemples réels.

Lorsque la surface sur laquelle ruisselle l'eau s'interrompt, les nouvelles forces qui entrent en jeu peuvent faire perler l'eau et provoquer l'égouttement, ou modifier la concentration de son écoulement, influant ainsi sur ses qualités érosives et pénétrantes, sa capacité à transporter des particules de saleté ou des produits chimiques en suspension, ainsi que sur son assèchement ultérieur. C'est en général aux endroits où s'opèrent ces changements de concentration que les défigurations et les détériorations les plus sérieuses des surfaces et des matériaux se produisent.

VIEILLISSEMENT

On appelle vieillissement, l'altération de l'apparence d'un édifice par suite de son exposition aux intempéries, dont les pluies poussées par le vent et la pollution de l'air. Les polluants incluent la fumée et d'autres gaz, des gouttelettes liquides, des particules abrasives, des cendres et de la poussière. Certains corrodent les métaux et la pierre, d'autres, goudronneux, adhèrent aisément aux surfaces des bâtiments. Les particules abrasives et la poussière, en particulier, se déposent ou sont entraînées par la pluie pour se concentrer principalement sur les surfaces horizontales. L'eau de pluie peut charrier la saleté des surfaces horizontales ou inclinées jusqu'aux surfaces verticales adjacentes. La saleté qui se dépose ou se déplace sur les surfaces laisse des traînées et des marques, et crée un motif de taches sombres et claires qui peut être visuellement intéressant, mais aussi néfaste, s'il s'accompagne d'une détérioration du matériau. Tout matériau exposé aux intempéries changera d'aspect. Ceci est difficile à éviter ; par contre, une conception soignée contribuera

grandement à enrayer la dégradation du bâtiment et à en réduire l'entretien.

Le caractère du vieillissement dépend, en plus de la géométrie des surfaces, de la nature et de la réaction des matériaux entre eux. Le béton, la pierre et la brique présentent souvent des efflorescences superficielles causées par la cristallisation des sels dérivés du matériau même, par la contamination de celui-ci au moment du transport ou de l'entreposage sur le chantier, par l'action des agents contaminants provenant des constructions voisines, des revêtements ou des sols. Les sels sont défigurants ; ils peuvent être lessivés et transportés vers d'autres surfaces par l'eau de pluie, ou se critalliser dans le matériau et entraîner un effritement ou un écaillement superficiel, en raison de la pression exercée par la croissance des cristaux.

Le ruissellement de l'eau polluée par un matériau sur un matériau différent est souvent nocif. Des coulées alcalines, créées par les produits de ciment, peuvent former des dépôts sur les vitres ou les rayer. Les sels solubles de la pierre calcaire et des produits à base de ciment peuvent tacher et endommager la brique et le grès, corroder l'aluminium, le plomb et le zinc. Les écoulements acides provenant du chêne ou du cèdre vert ou des toits couverts de mousse et de lichen peuvent aussi endommager ces métaux. Le ruissellement des couvertures de cuivre et de fer peut tacher considérablement les autres matériaux. En outre, la dilatation des produits de la corrosion des métaux peut provoquer la fissuration et la détérioration des matériaux dans lesquels les métaux sont noyés ou ancrés.

Le béton, la pierre et la maçonnerie sont quelquefois enduits de silicone, d'enduit à ciment ou d'autres substances qui accroissent leur imperméabilité, les protègent de la saleté, facilitent le nettoyage ou améliorent leur apparence. On traite presque toujours le bois au moyen de peintures, d'enduits naturels ou pigmentés, afin de le protéger contre l'eau et le rayonnement solaire, qui modifieraient rapidement son apparence originelle. Ces enduits peuvent empêcher la pénétration de l'eau de pluie, mais peuvent aussi s'opposer à son évaporation, augmentant ainsi le danger de détérioration par le gel ou par la cristallisation des sels sous l'enduit. Lorsque cet enduit recouvre imparfaitement le matériau ou lorsqu'il n'a pas été appliqué de façon uniforme, une humidification et un séchage inégaux tendent à se produire, en raison de la perméabilité variable de l'enduit. Cela peut en outre avoir un effet sur la rétention de la saleté à la surface des matériaux, soit à cause de l'enduit lui-même, soit à cause de son application inégale.

La rugosité et la couleur de la surface ont un effet sensible sur l'aspect du vieillissement. Lorsque la pluie et la saleté se déplacent sur une surface lisse, en béton par exemple, il est plus que probable que les quelques défauts accidentels dans le fini de la surface occasionnent des sillons prononcés, ce qui

risque moins de se produire si la surface est rendue rugueuse par un jet de sable ou autrement. Les finis grossiers ou dont le granulat est exposé empêchent la formation de gros filets d'eau et favorisent un ruissellement régulier, ce qui prévient la formation de traînées. Un fini rugueux et une coloration foncée peuvent aussi masquer les taches de saleté. Les détails classiques des édifices en pierre calcaire, dont plusieurs surfaces sont abritées de la pluie, produisent un vieillissement qui très souvent met en valeur le lourd relief des détails. L'eau de pluie acidifiée par le bioxyde de carbone et le bioxyde de soufre contenus dans l'air dissout et lessive la surface du calcaire. Aux endroits abrités, non seulement la saleté s'accumule, mais le carbonate de calcium et le sulfate de calcium la font adhérer à la surface, ce qui engendre un contraste marqué entre les zones lessivées et les zones protégées.

La géométrie du bâtiment est formée par les principales masses et le détail des façades, c'est-à-dire le relief des saillies et des retraits horizontaux et verticaux. Les poteaux d'ossature, les poutres de tympan, les linteaux et les appuis de fenêtres, les corniches, les auvents, les pare-soleil et les larmiers : tous ces éléments participent à la géométrie des surfaces et jouent un rôle important dans le vieillissement des bâtiments.

Il est quelquefois possible d'établir un rapport entre le vieillissement général des bâtiments et la rose de l'indice annuel des pluies poussées par le vent. Addleson (14) a fait ce rapprochement pour un édifice de la ville de Toronto. Le revêtement extérieur de l'édifice etait en pierre calcaire, matériau dont l'aspect se modifie sensiblement sous la pluie, et aucun grand édifice à proximité ne brouillait le "tableau" du vieillissement.

Robinson a mené une étude à Ottawa, en vue de vérifier si l'on pouvait observer sur les édifices du centre-ville des effets directionnels marqués. L'examen a révélé que les murs orientés à l'est étaient les plus tachés dans le cas de parements de grès, mais les plus propres dans le cas de façades de béton. Les vents d'est sont les plus fréquents dans la région d'Ottawa, comme l'indique la figure A-3. Il semble que la saleté adhère chimiquement aux surfaces des murs de grès au moment de l'évaporation de la pluie, alors que les murs de béton sont nettoyés par le ruissellement. On a toutefois relevé de nombreuses exceptions à cette règle, sans doute dues à l'effet protecteur d'autres édifices ou au relief particulier des façades. Ces conditions locales masquent souvent les effets directionnels de l'exposition annuelle au vent et à la pluie.

C'est habituellement la géométrie propre de la façade qui occasionne la concentration localisée des eaux de ruissellement, et donc, indirectement, les empreintes caractéristiques laissées par celles-ci sur les surfaces des édifices. La saleté se répartit assez uniformément sur les surfaces verticales, sauf aux endroits

où un élément concentre le ruissellement, ce qui a pour effet de créer une traînée plus pâle, plus "nette" ; on a qualifié ce phénomène de "blanchiment". Les appuis et les surfaces horizontales ou quasi horizontales ont tendance à accumuler la saleté ; l'eau qui s'écoule de ces éléments sur les surfaces verticales laisse donc derrière elle des coulées sales et plus sombres : c'est le "maculage". Ces trois phénomènes, accumulation de saleté, blanchiment et maculage, se rencontrent généralement ensemble (figure 21). Les nouvelles constructions présentent parfois des traînées sales aux endroits où le ruissellement est concentré, alors que le reste des surfaces est relativement propre. Ces mêmes endroits montreront plus tard des coulées pâles, après que les surfaces adjacentes aient été assombries par l'accumulation de saleté.

De nombreux défauts de conception contribuent à la formation des marques de saleté, mais un des plus courants est l'absence de larmiers ou l'emploi de larmiers inadéquats ou incomplets. Si aucun larmier n'a été prévu aux éléments comme les balcons ou les pare-soleil, l'eau coulera le long de leur sous-face, peut-être jusqu'aux surfaces verticales adjacentes, en un ruissellement souvent irrégulier, qui produira une humidification non uniforme et entraînera la formation de taches. Les projeteurs spécifient parfois l'emploi de dispositifs de ce genre, mais l'action de ceux-ci sera nulle s'ils ne sont pas convenablement détaillés. La figure 22 montre des détails types de balcons et de fenêtres où l'efficacité du larmier est mise en échec en raison d'une mauvaise conception et de dimensions inadéquates.

La même situation se reproduit en ce qui s'agit des appuis, des solins et du couronnement des murs. Les concepteurs s'entendent généralement sur la nécessité de faire saillir ces éléments architecturaux afin d'écarter l'eau de pluie des surfaces verticales, mais il arrive souvent que le ressaut soit insuffisant et le larmier inadéquat. L'expérience a montré que les saillies inférieures à 1 pouce n'empêchent pas l'eau de s'écouler sur le mur ou d'être soufflée par le vent sur les surfaces verticales (figure 23).

La corniche, le solin et le chaperon classiques, qui comportaient des larmiers en sous-face, assuraient le transfert progressif de l'eau de ruissellement d'un étage à l'autre (figure 24). Ces éléments servaient à enrayer la formation de taches de saleté sur les surfaces verticales, d'une part en les abritant des dépôts d'eau de pluie et, d'autre part, en empêchant qu'il ne se forme un écoulement continu sur ces surfaces. Ce recours aux ruptures horizontales du mur à chaque étage, aux porte-à-faux, aux larmiers et aux appuis qui servent à repousser l'eau loin des surfaces verticales se fait encore de nos jours (figure 24).

Si la façade est privée de larmiers ou de saillies, l'eau de ruissellement s'écoule sur les matériaux du mur et sur les fenêtres, jusqu'au pied du bâtiment (figure 25). Les sels et la

saleté lessivés du béton ou de la maçonnerie peuvent, dans certains cas, se déposer en quantités suffisantes sur les vitres pour produire des t ches qui en très peu de temps obscurciront le verre.

Certains détails, notamment les retours des saillies horizontales, ont tendance à concentrer l'écoulement de l'eau sur les murs adjacents. Il se forme souvent des taches de saleté aux endroits où cet écoulement concentré se disperse sur la surface verticale. La figure 26 montre des exemples relevés sur des édifices d'Ottawa. On note que même un léger écaillement ou de petites fissurations peuvent concentrer l'écoulement de telle manière que l'eau passera par-dessus le larmier et humidifiera le mur dessous.

Les meneaux, les balustres et autres éléments verticaux joignant un élément horizontal concentrent presque toujours l'écoulement, et produisent ainsi un vieillissement inégal (figure 27). Lorsqu'un appui n'est pas continu, les joints forment habituellement des canaux où se concentre l'écoulement, et même lorsqu'un larmier a été prévu, l'écoulement l'enjambera, lessivant et souillant le mur situé juste au-dessous des joints. Par ailleurs l'eau pénètre plus facilement et cause davantage de dégats si le mortier ou l'enduit des joints sont détériorés.

Le vieillissement peut être causé par de nombreux autres facteurs et donner lieu à des salissures diverses (figure 28). Les surfaces verticales peuvent recevoir les éclaboussures provenant des appuis voisins, des auvents, ou de la chaussée. Il peut se produire une montée d'humidité dans les matériaux poreux, causée par des terrasses ou un sol mal drainés. Les différentes capacités d'absorption des enduits ou des matériaux de fond peuvent produire des taches de saleté qui révèlent les joints de la maçonnerie. Une application non uniforme d'enduits d'imperméabilisation aura des effets analogues. L'entretien, comme le lavage des vitres, peut être à l'origine des taches de saleté sur des matériaux qui sont protégés des dépôts d'eau de pluie.

SOLUTION AUX MARQUES DE SALETÉ

Il faut distinguer le vieillissement et l'usure acceptables des marques de saleté indésirables. Des surfaces claires, uniformément colorées, qui contrastent avec des surfaces foncées, elles aussi uniformément teintées, accentuent souvent le relief de la façade. L'usure et le vieillissement naturel des bâtiments anciens, avec leurs corniches massives et leurs cordons en saillie, produisaient, en général, un contraste agréable. Par contre, les surfaces foncées maculées de traînées claires sont inacceptables, surtout lorsque ces traînées ne suivent pas les lignes de l'appareil, ce qui est habituellement le cas.

Souvent, l'apparition des taches est prévisible, et il est possible de maîtriser le ruissellement de l'eau ou de masquer ses effets. Diriger, recueillir et écarter les eaux pluviales

devraient constituer une préoccupation dominante dans la conception des murs extérieurs. Voici quelques-unes des mesures possibles :

- réduire au minimum les surfaces horizontales sur lesquelles la saleté s'accumule ;
- protéger les surfaces verticales à l'aide de saillies et de larmiers ;
- prévoir des canaux d'écoulement aux tympans et aux retours ;
- prévoir des surfaces rugueuses afin d'obtenir une répartition uniforme du ruissellement ;
- utiliser des couleurs non salissantes.

Il est possible de réduire les surfaces horizontales en éliminant les saillies. La figure 29 offre des exemples de panneaux prémoulés avec fenêtres intégrées. Des larmiers doivent être prévus aux linteaux, pour éviter la souillure des vitres et empêcher l'eau qui ruisselle sur le béton d'atteindre le verre. Les dimensions des surfaces verticales peuvent également être réduites et celles-ci protégées par des surplombs à forte pente munis de larmiers, qui réduisent l'accumulation de saleté et le maculage des surfaces sous-jacentes (figure 29). Sur ces surfaces, des reliefs décoratifs de membrures ou de rainures verticales distribuent le ruissellement et l'empêchent de s'étendre horizontalement. Cet artifice contribue également à masquer la saleté accumulée (figure 29).

L'intersection d'éléments horizontaux et verticaux en saillie crée presque toujours des traînées de saleté qui contournent les bords des colonnes exposées et les extrémités des éléments horizontaux, même lorsque leur face supérieure est fortement inclinée. Dans certains cas, il est possible d'interrompre l'élément horizontal juste avant la colonne, afin de confiner le ruissellement à cet élément et de permettre un lessivage libre de la colonne. Le cannelage des fûts aidera à éviter que l'eau ne reflue le long des extrémités.

Des rainures, qui canalisent le ruissellement, peuvent être creusées sur les éléments en saillie, comme les auvents ou les balcons, et être intégrées à la décoration de la façade (figure 29). Un canal larmier sur des éléments en saillie devrait, autant que possible, se terminer par un canal vertical ou un joint, et les nervures ou les cannelures devraient être suffisamment prononcées pour masquer l'effet de l'écoulement dans le canal. Un étranglement profond le long des bords d'un auvent est plus efficace qu'un petit larmier, mais ni l'un ni l'autre ne pourra empêcher une grande quantité d'eau de refluer sous la saillie. Lorsqu'on prévoit des écoulements importants, il serait peut-être préférable d'aménager une bordure sur le bord supérieur afin de drainer l'eau et de prévoir un larmier sur le bord inférieur.

Les surfaces lisses, en particulier les surfaces vitrées ou très polies, resteront probablement plus propres que les surfaces rugueuses si les traînées peuvent être évitées. Les petites aspérités qu'offrent les granulats apparents ou les surfaces

décapées au jet de sable accumulent davantage de poussière, mais conservent tout de même une belle apparence, car les granulats contribuent à distribuer le ruissellement, et donc la saleté (figure 29). Les gros granulats apparents de couleur claire forment une surface grossière qui semblera très sale après un certain temps, parce que les creux s'assombrissent, tandis que les parties saillantes restent propres. Les finis plus ou moins rugueux peuvent ne pas offrir d'obstacle au ruissellement ou permettre au vent de ramener l'eau en filets, ce qui produira des sillons irréguliers de saleté ; des nervures ou des cannelures verticales permettront de maîtriser le ruissellement.

L'emploi de coloris sombres et de surfaces rugueuses peut contribuer à masquer les dépôts de saleté. S'il ne se forme pas de traînée, l'assombrissement uniforme de la façade donnera rarement un effet désagréable.

RÉFÉRENCES

1. Collins, P., Changing Ideals in Modern Architecture, 1750-1950, p. 127. McGill University Press, Montreal, 1965.

2. Collins, P., Concrete: The Vision of a New Architecture. Horizon Press, New York, 1959.

3. Lacy, R.E., Driving-Rain Maps and the Onslaught of Rain on Buildings. Building Research Station, Ministry of Technology, Current Paper No. 54, Garston, 1965.

4. Lacy, R.E., Distribution of Rainfall round a House. Meteorological Magazine, Vol. 80, pp. 184-189, 1951.

5. Lacy, R.E. and H.C. Shellard, An Index of Driving Rain. Meteorological Magazine, Vol. 91, pp. 177-184, 1962.

6. Boyd, D.W., Driving-Rain Map of Canada. National Research Council of Canada, Division of Building Research, TN 398, Ottawa, 1963.

7. Olgyay, V., Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architecture and Regionalism. University Press, Princeton, 1963.

8. Lacy, R.E., Survey of Meteorological Information for Architecture and Building. Building Research Station, Department of the Environment, Current Paper No. 5, Garston, 1972.

9. Wise, A.F.E., Wind Effects Due to Groups of Buildings. Building Research Station, Ministry of Public Buildings and Works, Current Paper No. 23, Garston, 1970. (Version révisée publiée dans le Canadian Architect, vol 16, n° 11, novembre 1971, p. 28).

10. Couper, R.R., Drainage from Vertical Surfaces. Paper No. 4 in Wind-Driven Rain and the Multi-Storey Building, Division of Building Research, CSIRO, Australia, 1972.

11. Martin, K.G., Roof Drainage. Paper No. 5 in Wind-Driven Rain and the Multi-Storey Building, Division of Building Research, CSIRO, Australia, 1972.

12. Baines, W.D., Effects of Velocity Distribution on Wind Loads and Flow Patterns on Buildings. Proceedings of Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, National Physical Laboratory, Teddington, 1963, Vol. 1, p. 201, HMSO, London 1965.

13. Chien, N., Wind Tunnel Studies of Pressure Distribution on Elementary Building Forms. Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, Iowa, 1951.

14. Addleson, L., Materials for Building. Vol. 2, pp. 40-43, Butterworth & Co. Ltd., pp. 40-43, London, 1972.

BIBLIOGRAPHIE

Ashurst, J., Conservation of Stone: Cleaning Natural Stone Buildings. Department of the Environment, Library Service Reprints, London, 1972.

Canada, Service de l'environnement atmosphérique, ministère de l'Environnement, Projet n° 08170, 1970, et projet n° 03573, Toronto, 1973.

Committee on Building Maintenance, Building Maintenance: An Interim Report. Ministry of Public Buildings and Works, Research and Development Bulletin, HMSO, London, 1969.

Drake, B.E., Do Buildings Need to Last? Maintenance by Design. Ministry of Public Buildings and Works, Research and Development Bulletin, HMSO, London, 1969.

Dukes, W.H., Conservation of Stone: Causes of Decay and Chemical Treatments. Department of the Environment, Library Service Reprints, London, 1972.

England, R., Planning Complex Building Systems. Architectural Research and Teaching, Vol. 2, No. 1, RIBA Publications Limited, London, November 1971.

Garden, G.K., Pénétration de la pluie et moyens de l'empêcher. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, CBD 40F, Ottawa, décembre 1964.

Garden, G.K., Conception et durée de vie utile. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, CBD 120F, Ottawa, avril 1974.

Horrobin, P.J. and J.W. Simpson, The Weathering and Performance of Building Materials. Medical and Technical Publishing Co. Ltd., Aylesbury, Bucks., 1970.

Isaksen, T., Rain Penetration in Joints: Influence of Dimensions and Shape of Joints on Rain Penetration. Norwegian Building Research Institute, Oslo, 1966.

Isaksen, T., Driving Rain and Joints: Testing of Model Joints Between Elements. Norwegian Building Research Institute, Oslo, 1972.

Khlusov, Z., The Protection of Buildings from Atmospheric Precipitation. Arkhetektura SSSR, (11), 1954.

Lacy, R.E., An Index of Driving Rain. Meteorological Magazine, Vol. 91, 1962.

Lacy, R.E., An Index of Exposure to Driving Rain. Building Research Station, Department of the Environment, Building Research Digest No. 127, Garston, 1971.

Latta, J.K., L'eau et les matériaux de construction. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, CBD 30F, Ottawa, mai 1964.

Latta, J.K., Murs préfabriqués en béton : nouveaux principes de base pour leur tracé. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, CBD 94F, Ottawa, octobre 1969.

Platts, R.E. and J.R. Sasaki, Test on Vertical Joints for a Wood-Panel Wall System. National Research Council of Canada, Division of Building Research, NRC 9870, Ottawa, October 1968.

Sasaki, J.R., Détermination de l'étanchéité à la pluie des joints des murs extérieurs. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, NRCC 12579F, Ottawa, avril 1972.

Statistique Canada, Annuaire du Canada de 1972. Ottawa, 1972.

Valderpoort, W., Permanent and Semi-Permanent. BOUW, Rotterdam, November 19, 1960.

Verrall, A.F., Building Decay Associated with Rain Seepage. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Technical Bulletin 1356, Washington, September 1966.

White, K.C., Wind Effects on Buildings and Structures. Longhborough University of Technology, Paper No. 34, 1968.

Wise, A.F.E., D.E. Sexton, and M.S.T. Lillywhite, Studies of Air Flow Round Buildings. Building Research Station, Ministry of Technology, Current Paper No. 38, Design Series, Garston, 1965.

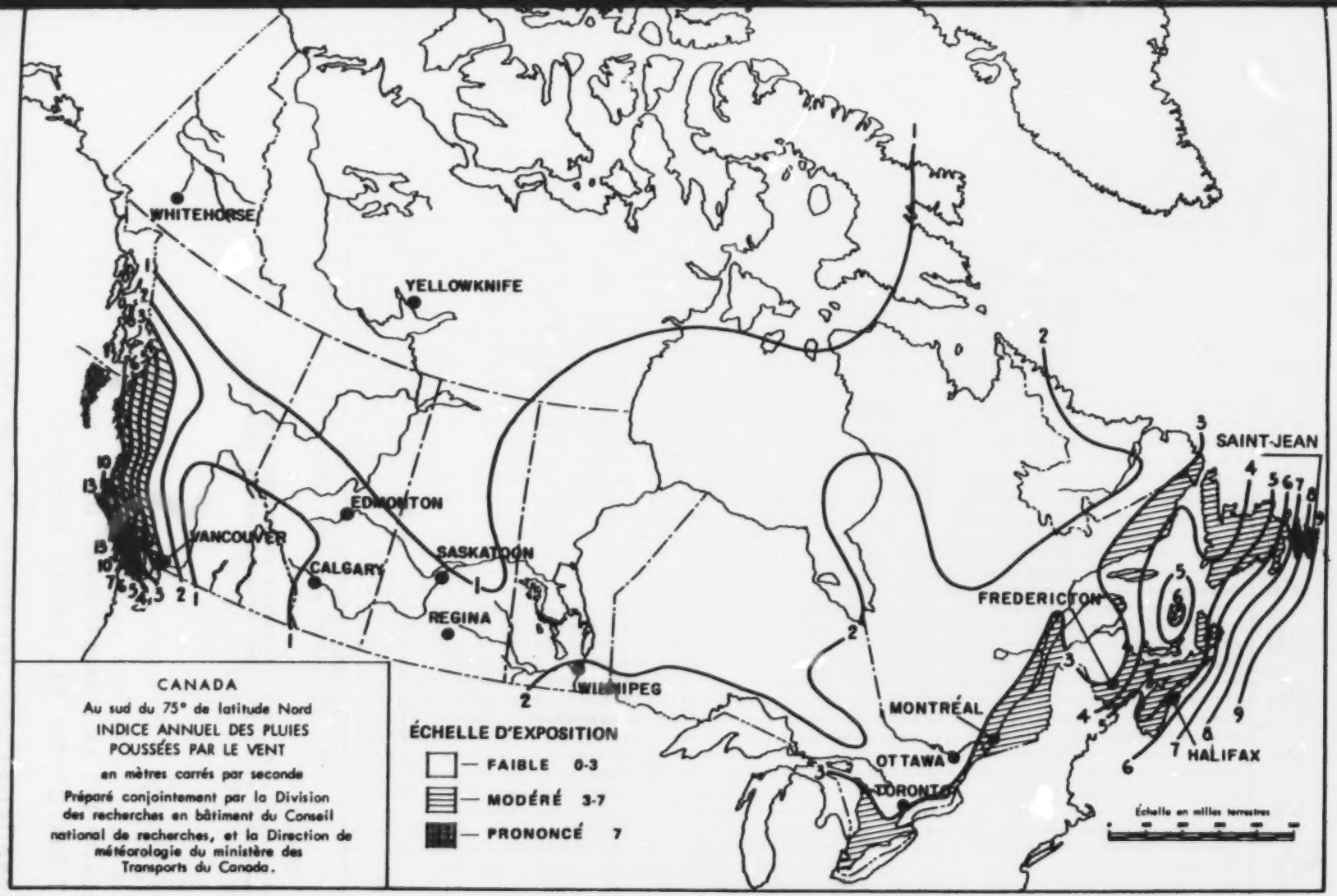


FIGURE 1

(Boyd[6])

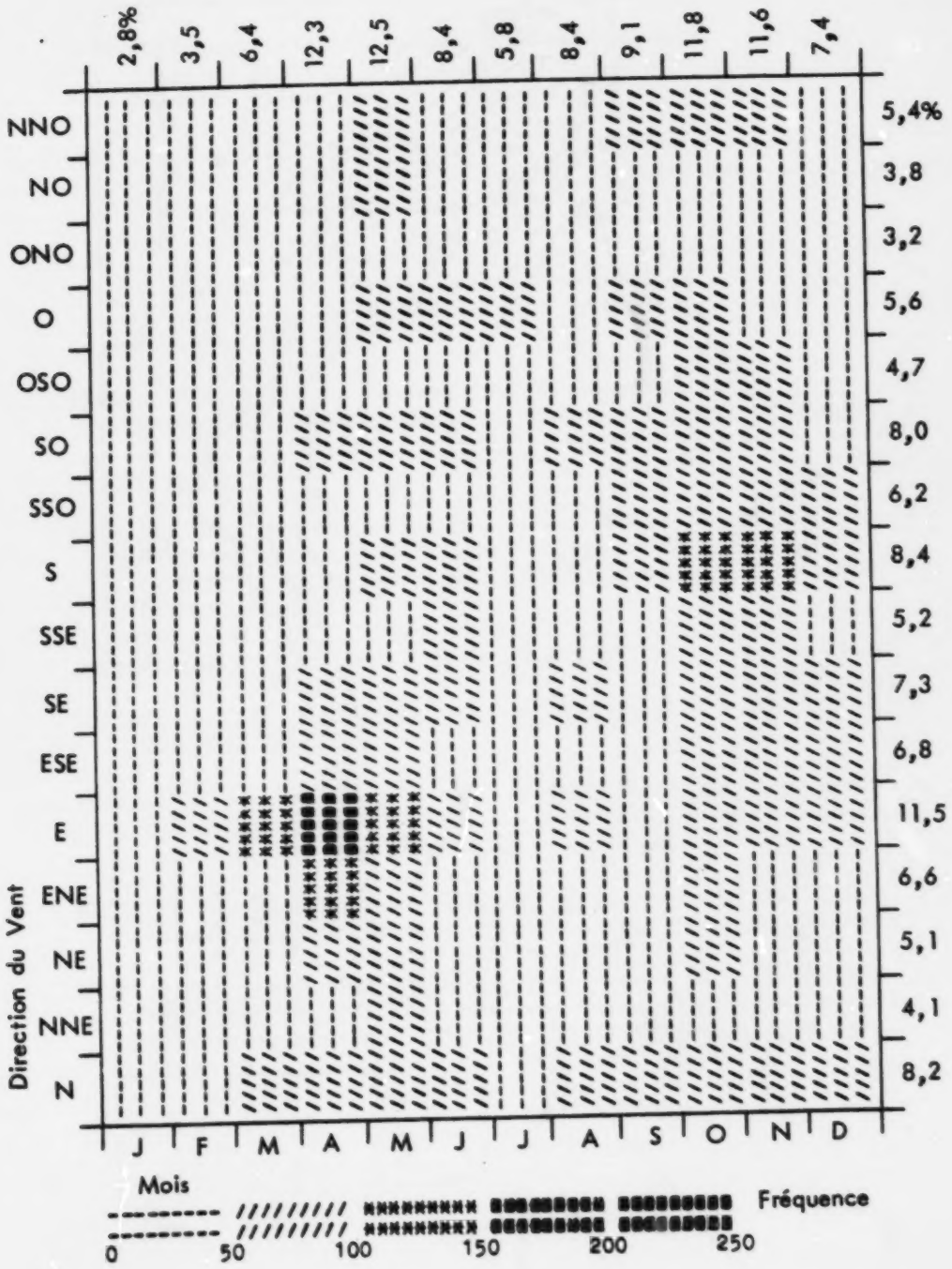


FIGURE 2

AÉROPORT INTERNATIONAL DE TORONTO - FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS PLUVIEUX

Compilation pour les années 1953 à 1968. Source: Projet no 08170, S.E.A., Toronto

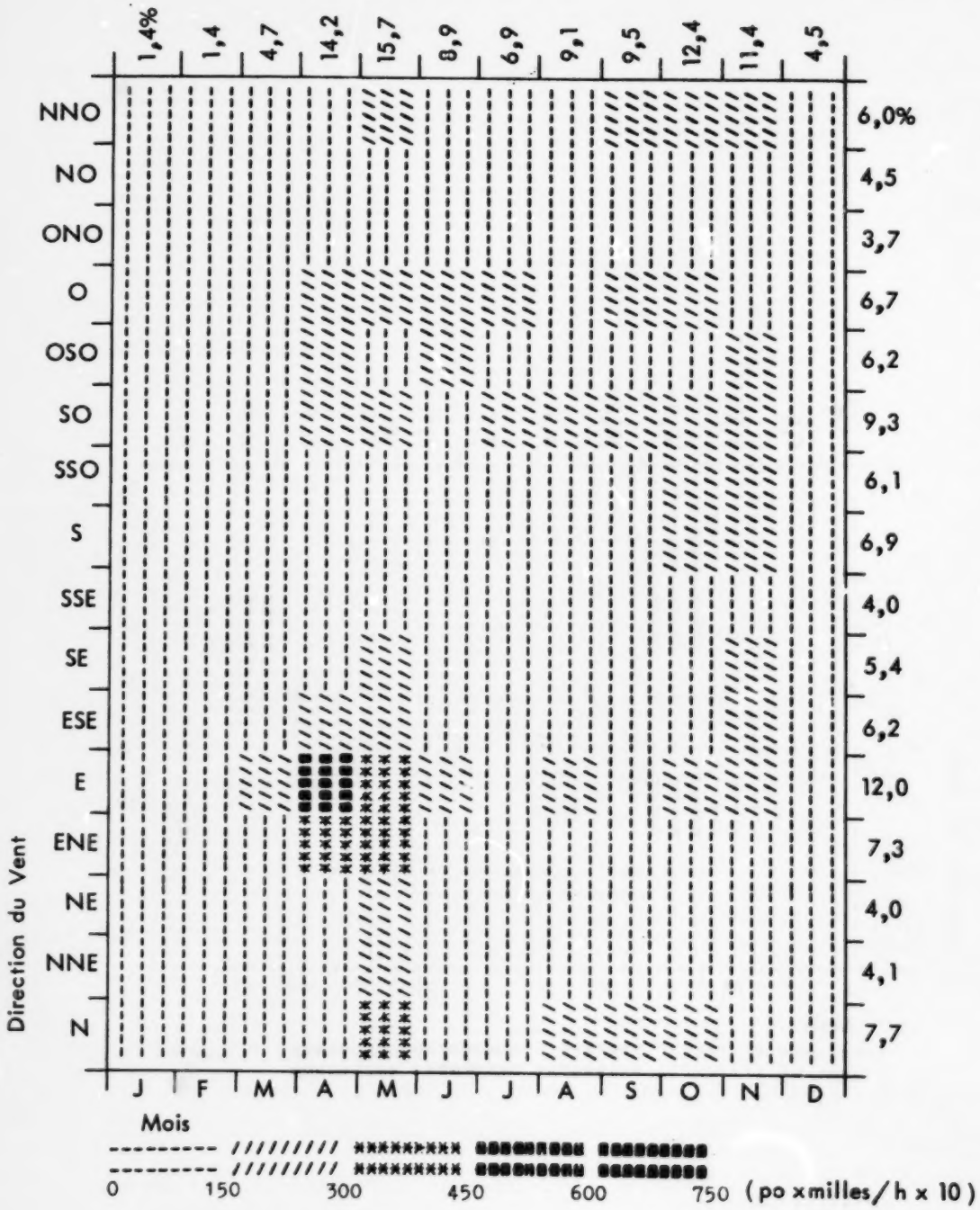


FIGURE 3

AÉROPORT INTERNATIONAL DE TORONTO - INDICE DES PLUIES POUSSÉES PAR LE VENT (po x milles/h x 10)

Compilation pour les années 1953 à 1968. Source: Projet nº 08170, S.E.A., Toronto

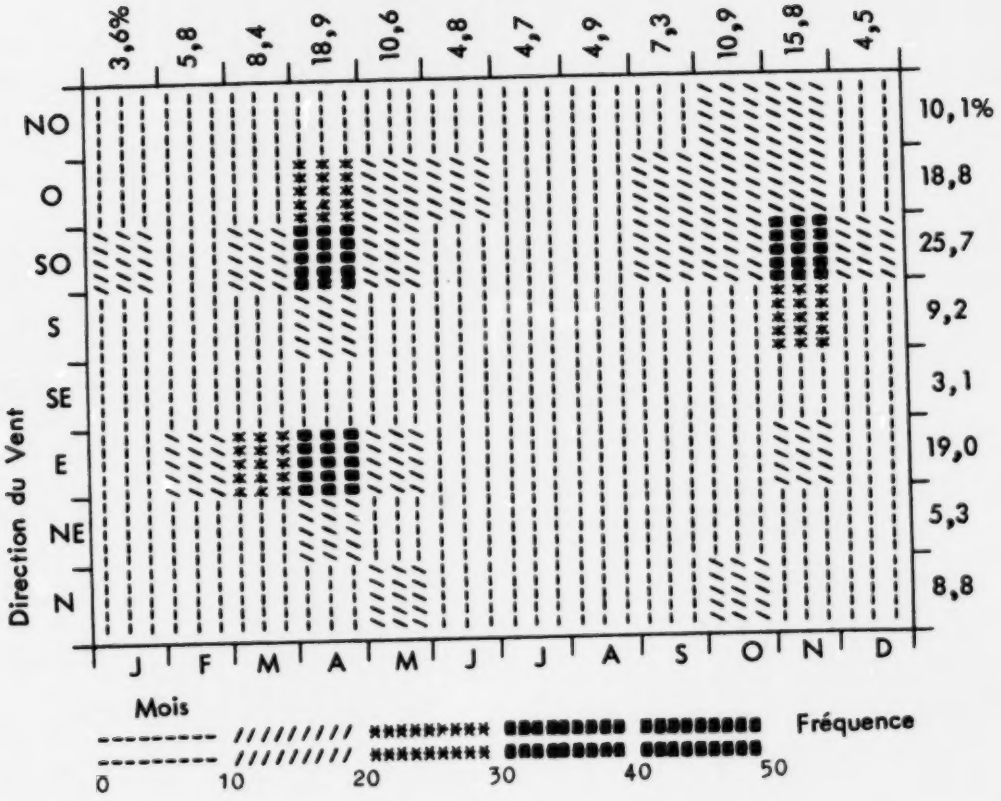


FIGURE 4

AÉROPORT INTERNATIONAL DE TORONTO - FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS PLUVIEUX DE MOINS DE 19 milles/h

Compilation pour les années 1953 à 1968. Source: Projet nº08170, S.E.A., Toronto

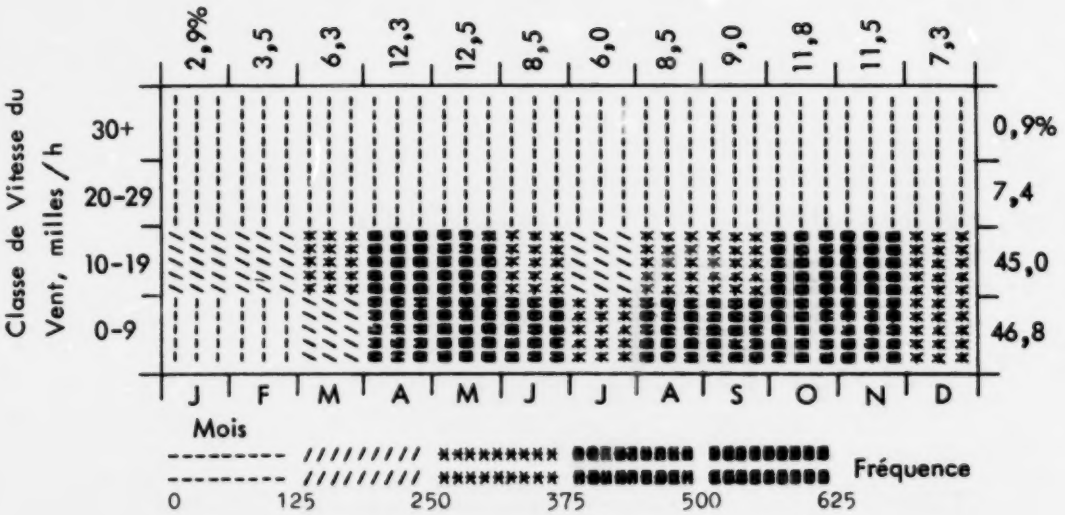


FIGURE 5

AÉROPORT INTERNATIONAL DE TORONTO - FRÉQUENCE DES VENTS PLUVIEUX SELON LEUR VITESSE

Compilation pour les années 1953 à 1968. SOURCE: Projet nº 08170, S.E.A., Toronto

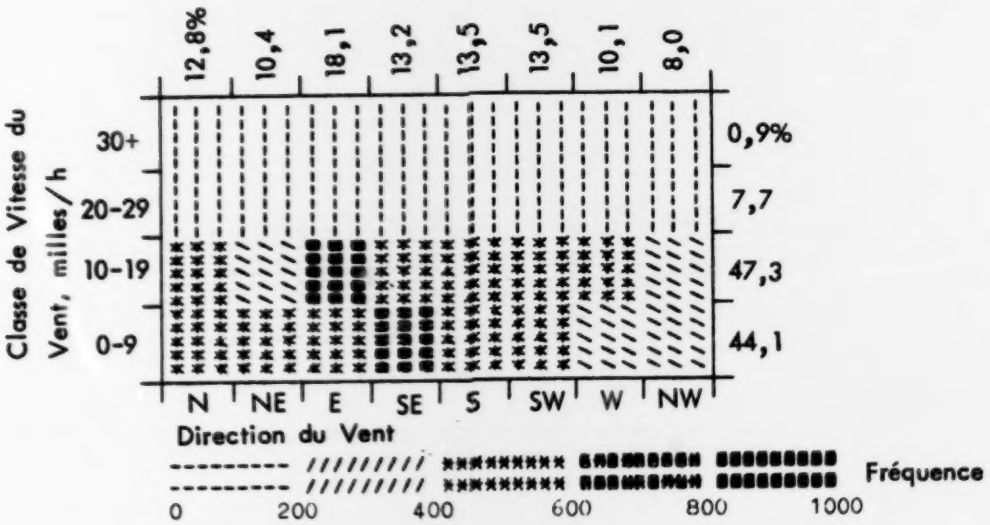
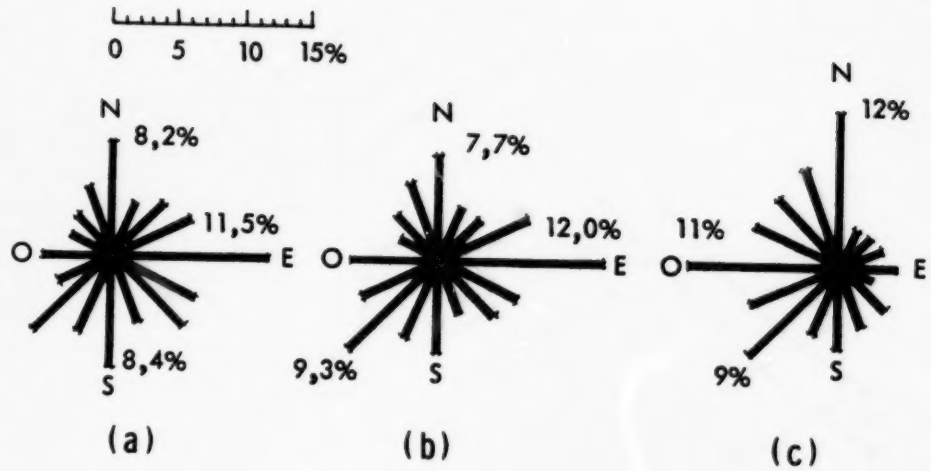


FIGURE 6

AÉROPORT INTERNATIONAL DE TORONTO - FRÉQUENCE DE VITESSE DES VENTS PLUVIEUX EN FONCTION DE LEUR DIRECTION

Compilation pour les années 1953 à 1968.
Source: Project nº 08170, S.E.A., Toronto



Distribution en pourcentage de la fréquence des vents pendant la pluie (calme: 1%)

Distribution en pourcentage de la fréquence de l'indice des pluies poussées par le vent (calme: 1%)

Distribution en pourcentage de la fréquence des vents à toute heure établie à partir des résumés climatiques de 1955 à 1966 (calme: 5%)

FIGURE 7

AÉROPORT INTERNATIONAL DE TORONTO

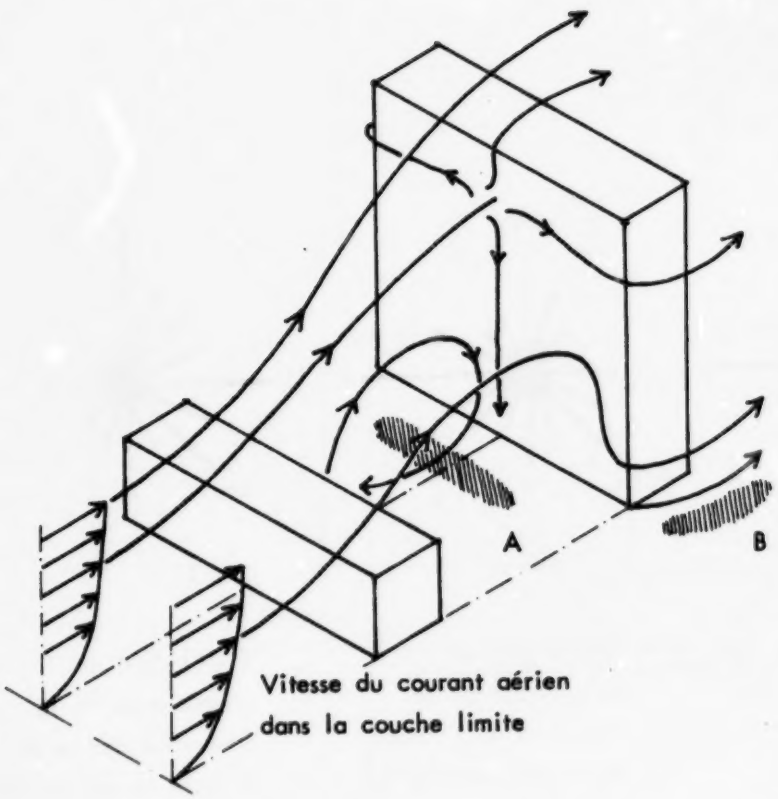


FIGURE 8

ÉCOULEMENT TYPE DE L'AIR AUX ABORDS D'UN GRAND ÉDIFICE RECTANGULAIRE PLACÉ DERRIÈRE UN BÂTIMENT PLUS BAS, ÉGALEMENT RECTANGULAIRE. LA VITESSE DU VENT DANS LES ZONES A ET B PEUT ÊTRE DE DEUX FOIS CELLE DU VENT LIBRE À LA MÊME HAUTEUR ET DE TROIS À QUATRE FOIS CELLE DU VENT SOUFFLANT SUR LES RUES BORDÉES PAR DES CONSTRUCTIONS BASSES (Wise[9])

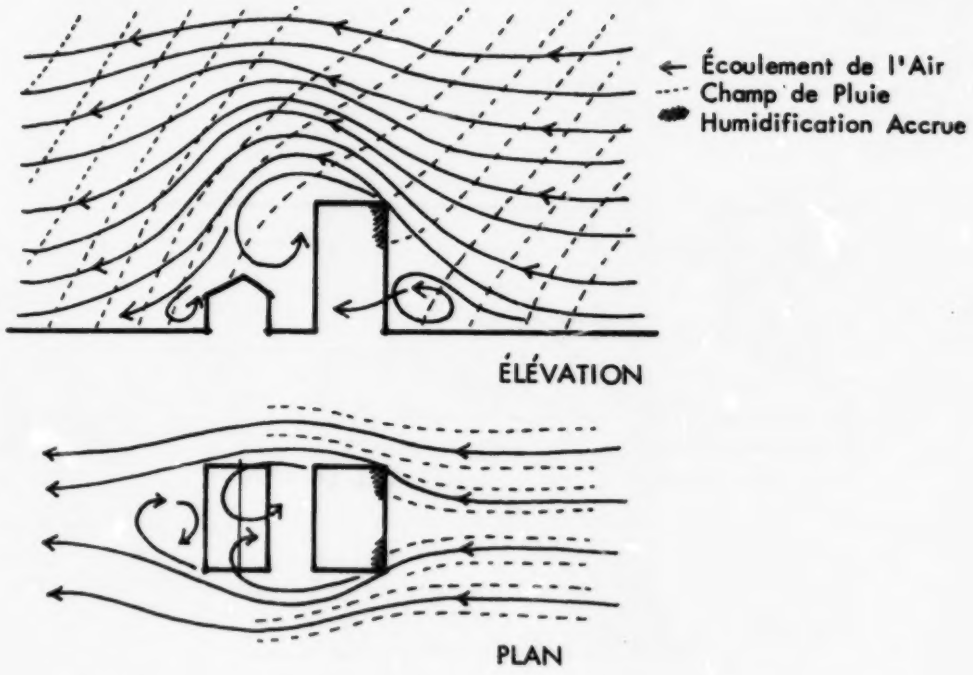


FIGURE 9

ÉCOULEMENT DE L'AIR AU-DESSUS D'UN ÉDIFICE ET TRAJECTOIRES PROBABLES DES GOUTTES DE PLUIE D'UNE SEULE GROSSEUR (Martin[11])

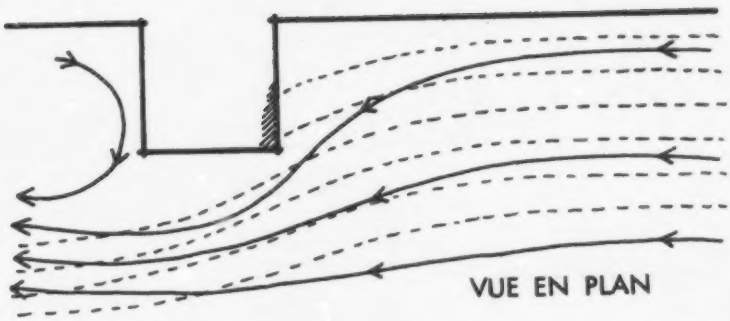


FIGURE 10

REPRÉSENTATION PROBABLE DE L'ÉCOULEMENT DE L'AIR ET DES TRAJECTOIRES DES GOUTTES DE PLUIE D'UNE SEULE GROSSEUR AUTOUR D'UNE SAILLIE DE FAÇADE PRODUISANT UNE HUMIDIFICATION NON UNIFORME DE CETTE FAÇADE (Couper[10])

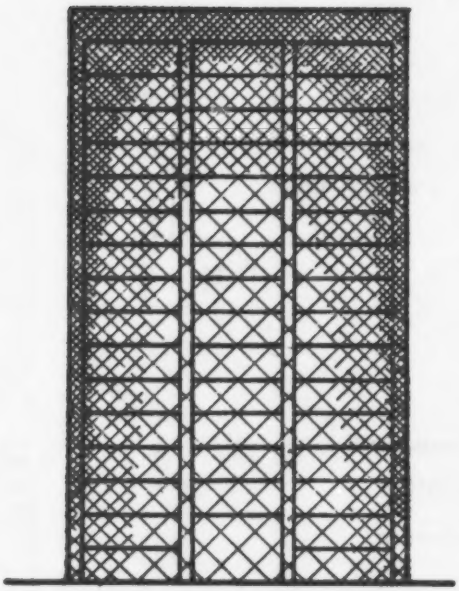
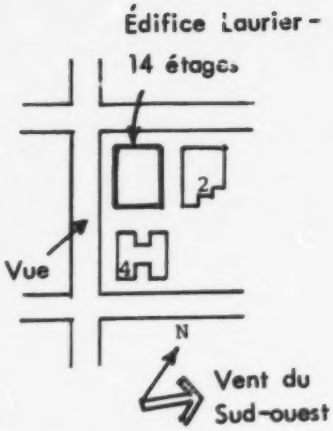
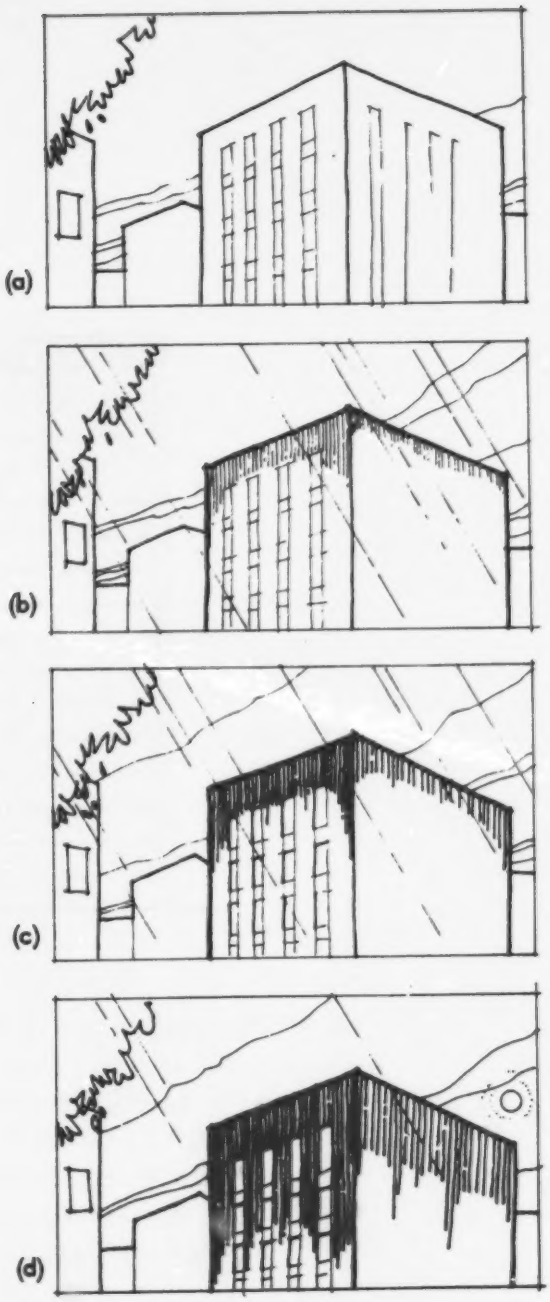


FIGURE 11

HUMIDIFICATION TYPE DE LA FAÇADE D'UN ÉDIFICE À PLUSIEURS ÉTAGES SOUMIS À LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT (Couper[10])





(a) Édifice sec

(b) Après 10 minutes: développement du profil type d'humidification

(c) Après 20 minutes: l'écoulement commence

(d) Après 40 minutes: la pluie cesse; l'humidification des façades situées du côté du vent par les dépôts et le ruissellement de l'eau correspond à peu près à l'exposition directionnelle aux pluies poussées par le vent

FIGURE 12

ÉDIFICE LAURIER, OTTAWA - EXPOSITION DE 40 MINUTES À UNE PLUIE MODÉRÉE

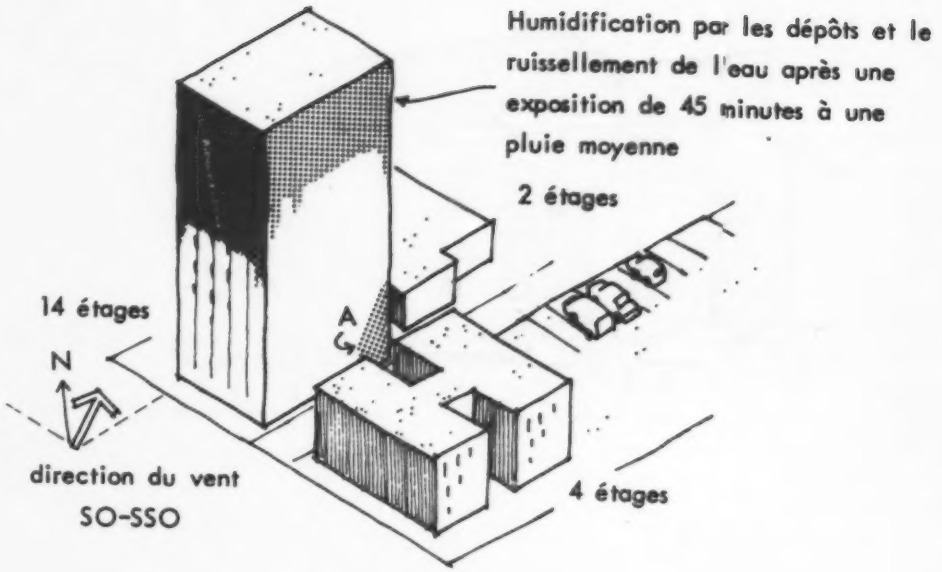


FIGURE 13

ÉDIFICE LAURIER, OTTAWA. EXPOSITION ACCRUE DU MUR À LA PLUIE DANS LA ZONE A DUE À LA DÉVIATION DU COURANT AÉRIEN PAR LES BÂTIMENTS VOISINS

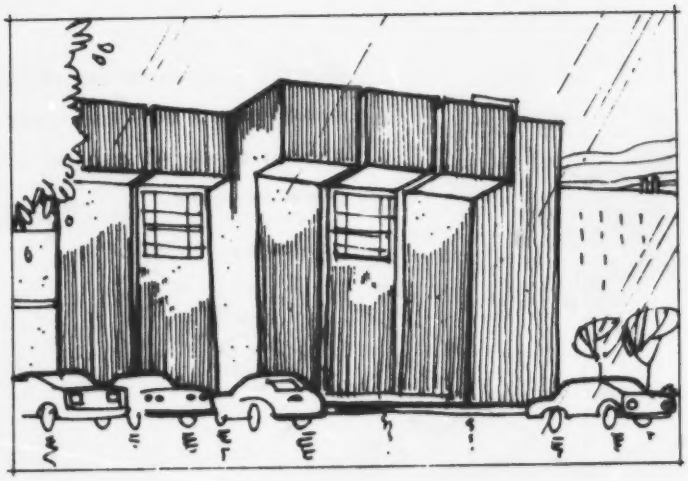
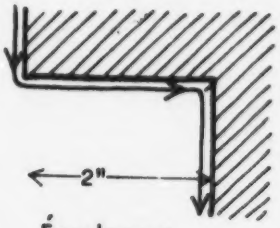
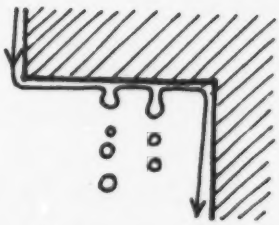


FIGURE 14

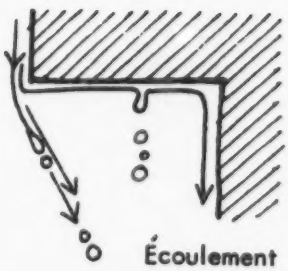
BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ D'OTTAWA. EXPOSITION DIMINUÉE DES SURFACES VERTICALES EN RAISON DE LA PRÉSENCE D'ÉLÉMENTS EN SAILLIE. À REMARQUER, LE DÉPLACEMENT DE "L'OMBRE" DE LA PLUIE, ATTRIBUABLE À L'ANGLE DE CHUTE DE LA PRÉCIPITATION



Écoulement
Faible



Écoulement
Moyen



Écoulement
Abondant

FIGURE 15

OBSERVATION DE L'ÉCOULEMENT DE L'EAU DE PLUIE SUR UN RETOUR DE GRANIT POLI

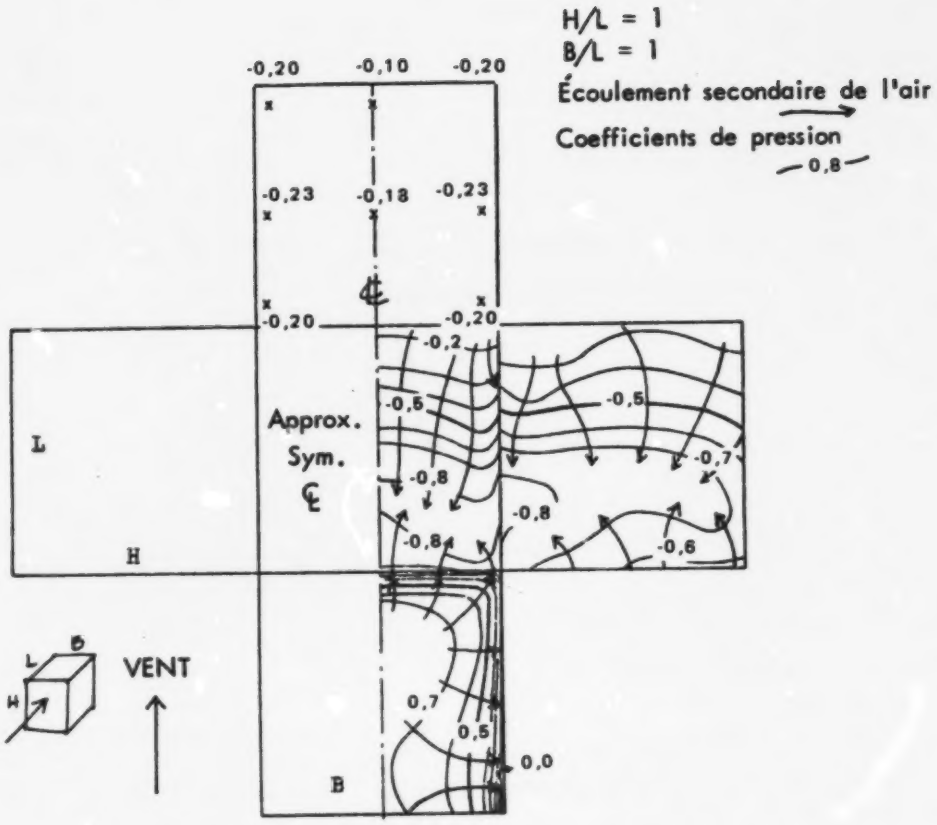


FIGURE 16

RÉPARTITION DE LA PRESSION ET ÉCOULEMENT SECONDAIRE RÉSULTANT SUR UN CUBE SITUÉ DANS UN CHAMP DE VENT DE COUCHE LIMITE. L'ÉPAISSEUR DE L'ÉCOULEMENT SECONDAIRE EST D'ENVIRON 0,1 B (Baines[12])

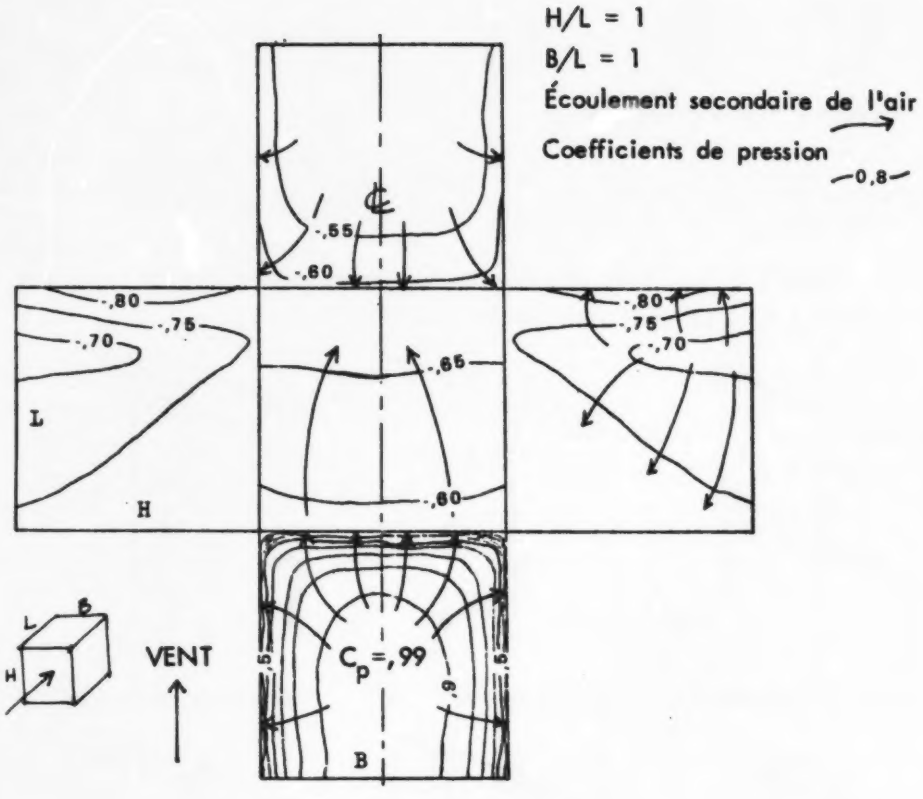
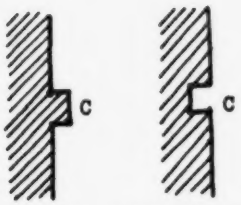


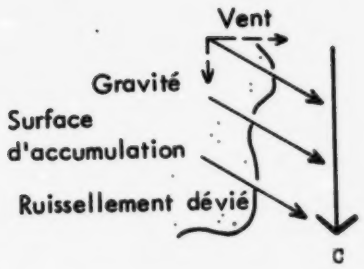
FIGURE 17

RÉPARTITION DE LA PRESSION ET ÉCOULEMENT SECONDAIRE RÉSULTANT SUR UN CUBE SITUÉ DANS UN CHAMP DE VENT DE VITESSE CONSTANTE (Baines[12])



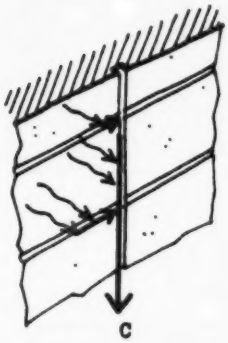
COUPES HORIZONTALES

Canal type C:
saillie ou retrait verticaux.

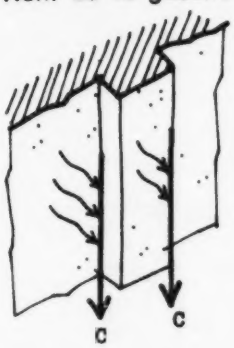


Accumulation et ruissellement
dans un canal C.

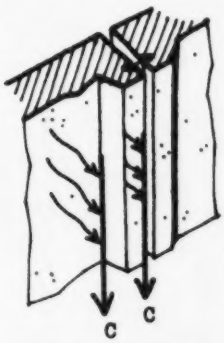
CI-DESSOUS: Exemples de ruissellement concentré le long de canaux continus C. Le vent vient de la gauche.



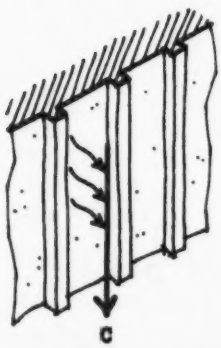
Joints de maçonnerie



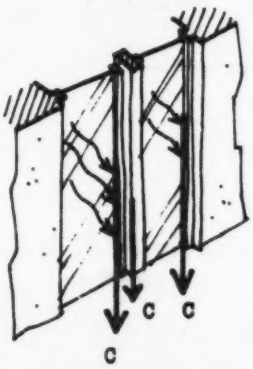
Pilastres



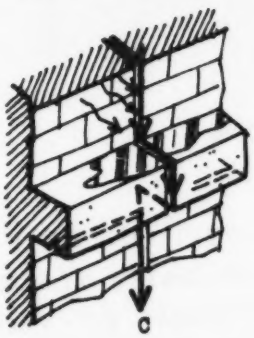
Joints de panneaux



Pointes décoratives



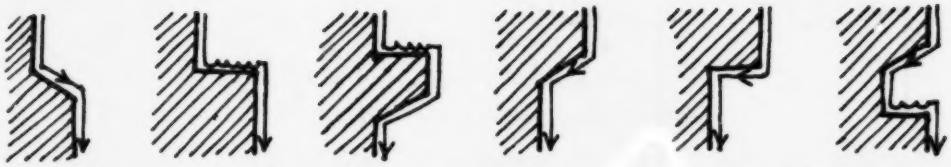
Encadrements et
meneaux de fenêtres



Joints de dilatation
(larmier chevauché)

FIGURE 18

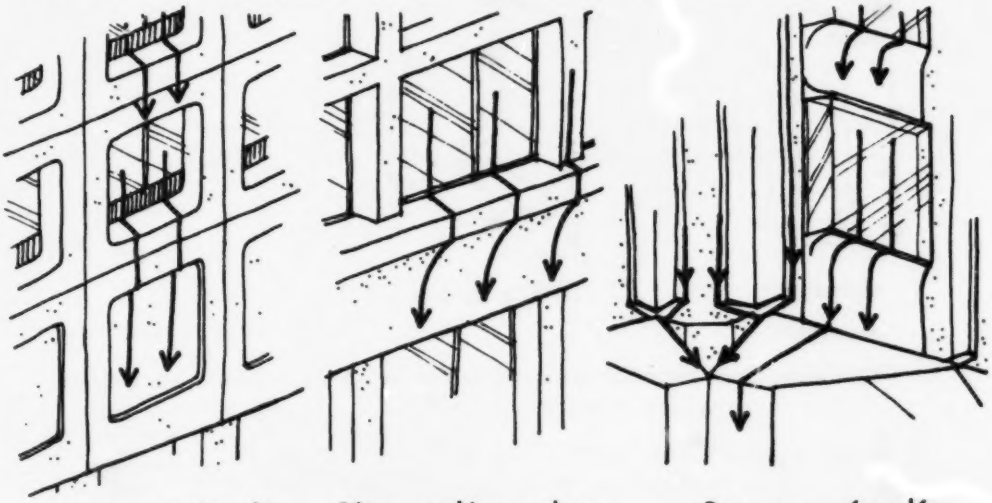
CANAUX CONTINUS



Exemples types de plans continus montrant l'écoulement et l'accumulation possibles sur les surfaces horizontales

COUPES VERTICALES

CI-DESSOUS: Exemples de ruissellement sur quelques bâtiments existants.



Panneaux prémoulés, Ottawa

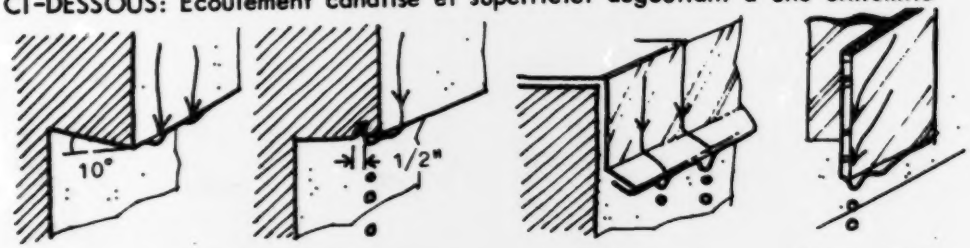
Béton coulé sur place, Montréal

Panneaux prémoulés et enduit, Ottawa

FIGURE 19

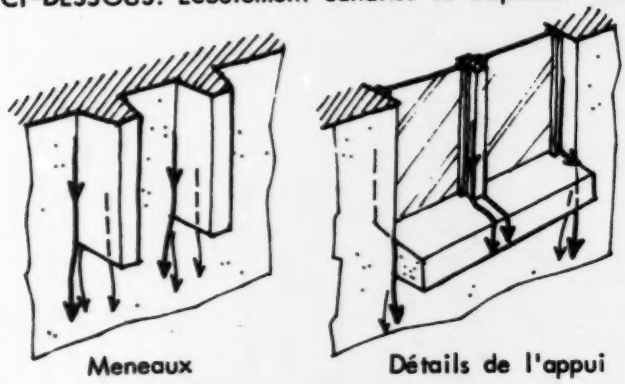
PLANS CONTINUS

CI-DESSOUS: Écoulement canalisé et superficiel dégouttant à une extrémité



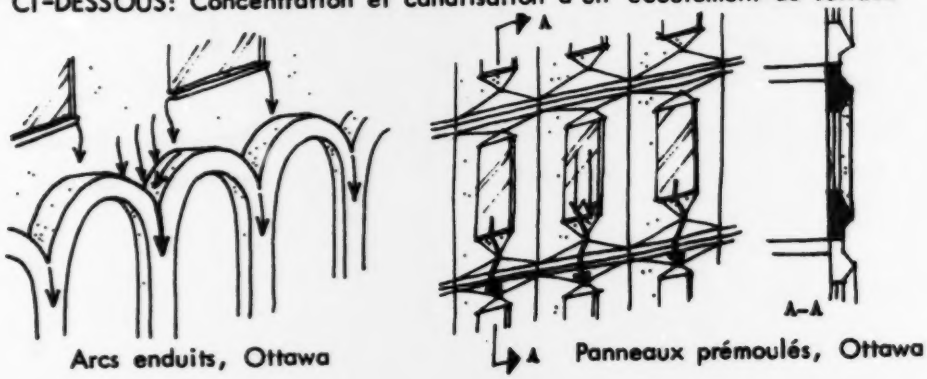
Sous-face inclinée | Détail de larmier | Solin | Menau en T

CI-DESSOUS: Écoulement canalisé se dispersant sur une surface plane



Meneaux décoratifs | Détails de l'appui

CI-DESSOUS: Concentration et canalisation d'un écoulement de surface



Arcs enduits, Ottawa | Panneaux prémoulés, Ottawa

FIGURE 20

INTERRUPTIONS DES CANAUX ET DES SURFACES PLANES

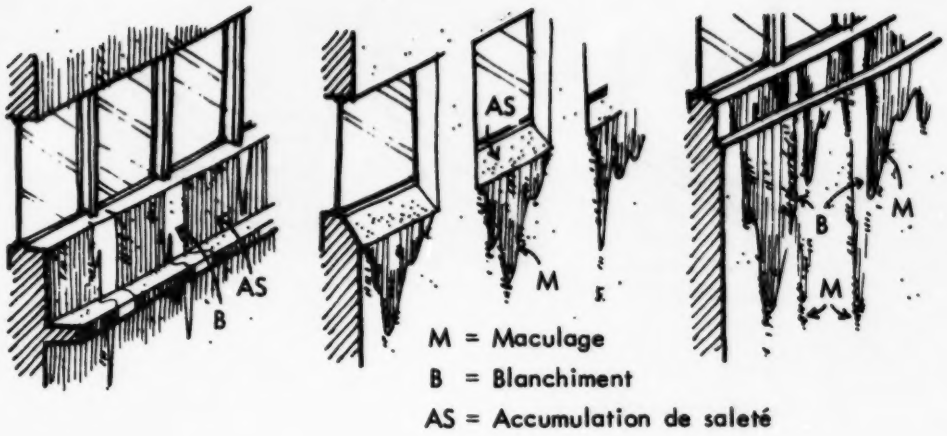


FIGURE 21

QUELQUES MARQUES CARACTÉRISTIQUES

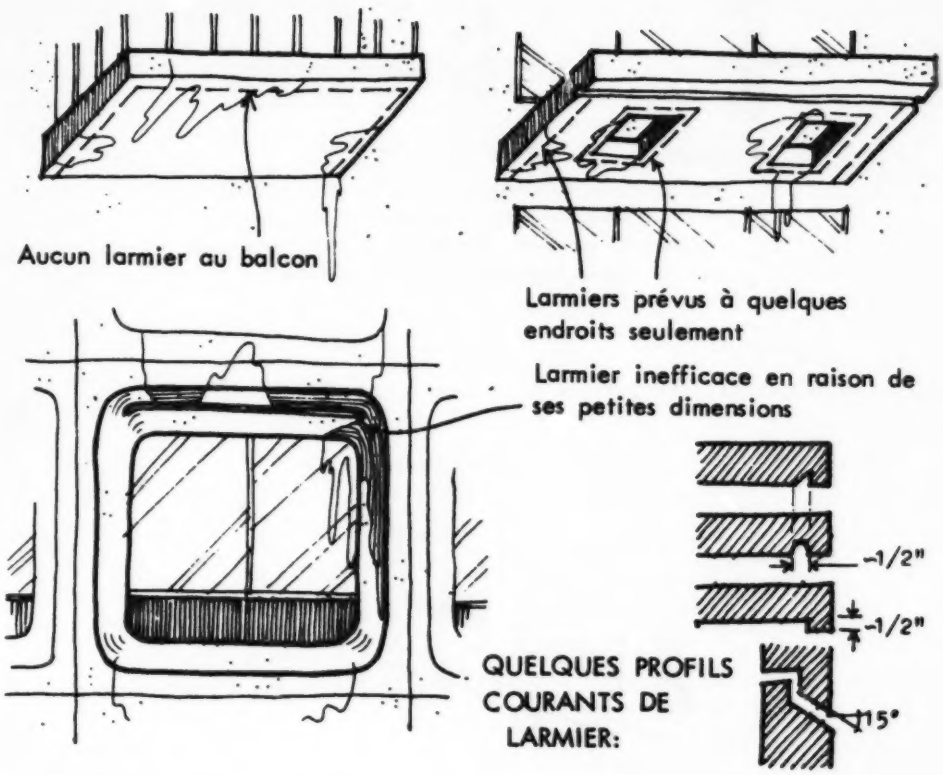


FIGURE 22

OMISSION DES LARMIERS

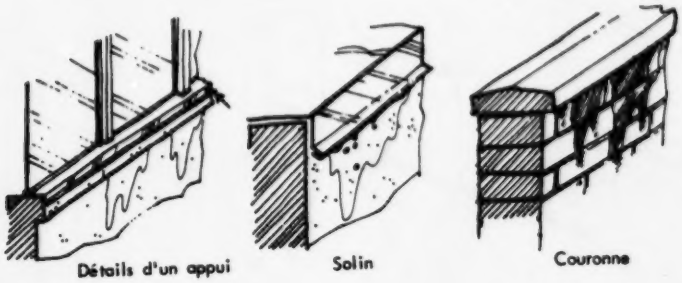
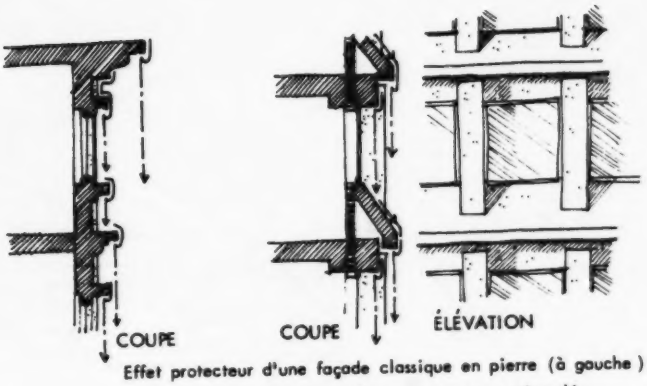


FIGURE 23

SAILLIES INADÉQUATES



Effet protecteur d'une façade classique en pierre (à gauche) et d'une façade contemporaine en panneaux prémoulés (à droite). Les larmiers coupent l'écoulement et préviennent ainsi le lessivage indésirable des surfaces verticales.

FIGURE 24

TRANSFERT PROGRESSIF DU RUISSELLEMENT

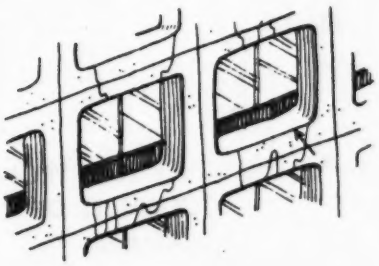
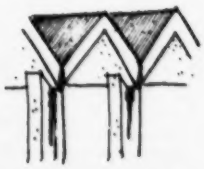


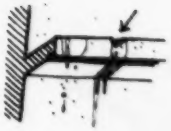
FIGURE 25

AUCUNE SAILLIE



Concentrations de l'écoulement occasionnées par la géométrie de l'édifice

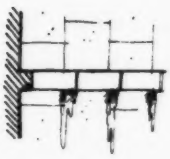
Ruissellement non maîtrisé à un retour



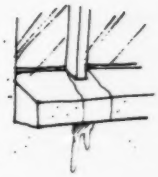
Les effritements et les fissures peuvent concentrer l'écoulement suffisamment pour qu'il chevauche le larmier, provoquant ainsi l'humidification du mur situé au-dessous de la saillie

FIGURE 26

DÉTAILS ARCHITECTURAUX



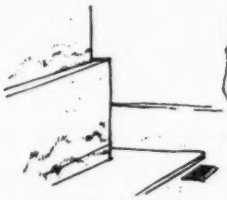
Écoulement concentré aux joints de la maçonnerie, chevauchement du larmier



Écoulement concentré à un meneau

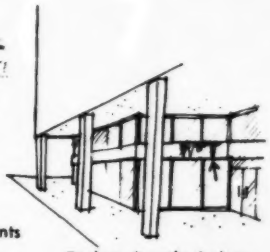
FIGURE 27

JOINTS ET AUTRES CANAUX



Éclaboussure et montée de l'humidité dans un mur poreux

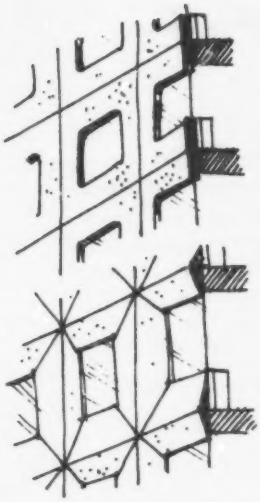
Joints apparaissants à travers l'enduit



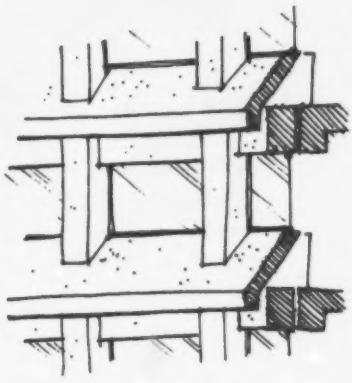
Taches de saleté dues au nettoyage des vitres à un endroit abrité de la pluie

FIGURE 28

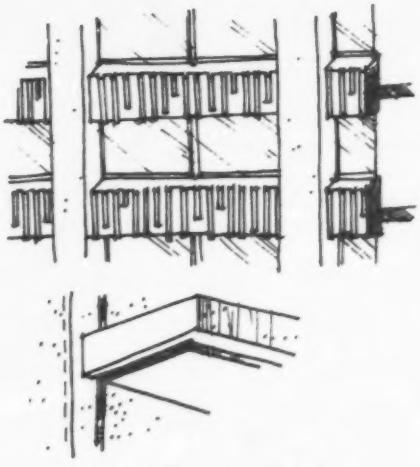
DIVERS



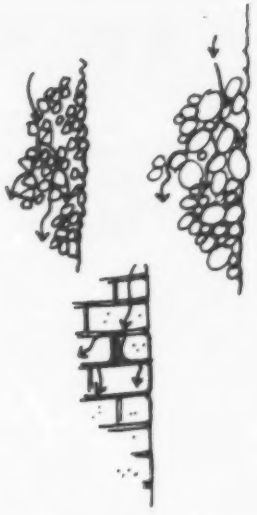
Surfaces horizontales réduites au minimum sur les panneaux prémoulés afin de diminuer l'accumulation de saleté



Surfaces verticales réduites au minimum; les surfaces horizontales sont protégées par des surplombs munis de larmiers. L'accumulation de la saleté et le lessivage de la saleté sur les surfaces verticales sont diminués



Canaux utilisés pour guider le ruissellement. Un relief décoratif (en haut) masque aussi l'accumulation de saleté



Les surfaces très rugueuses distribuent le ruissellement, réduisant les concentrations de taches de saleté. Une coloration foncée masque les taches

FIGURE 29

MAÎTRISE DU RUISSELLEMENT ET DU VIEILLISSEMENT

ANNEXE A

FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS PENDANT LA PLUIE

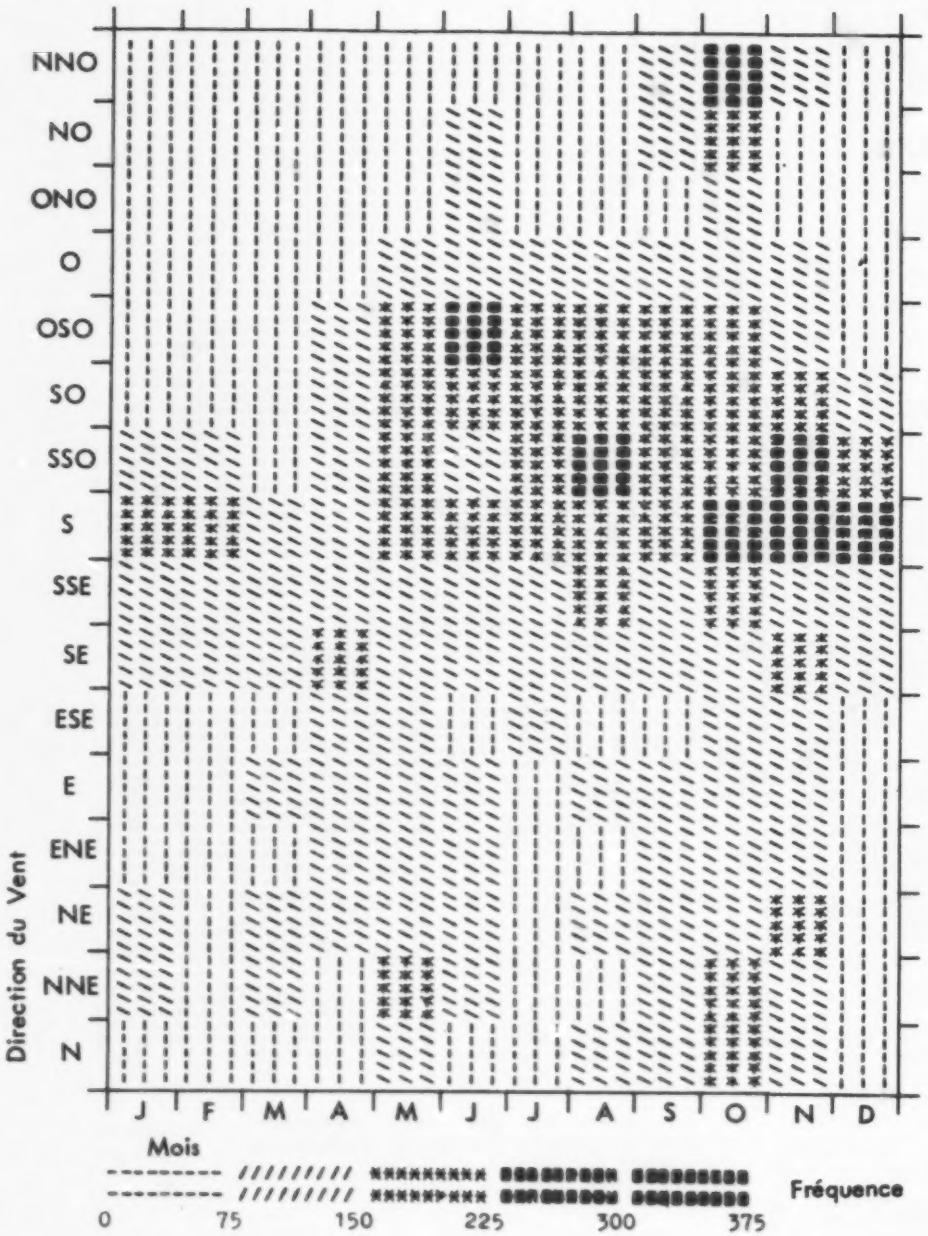


FIGURE A-1

AÉROPORT DE SAINT-JEAN (T.-N.)
FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS ACCOMPAGNÉS DE PLUIE ET DE PLUIE VERGLAÇANTE

Compilation pour les années 1953 à 1971. Source: Projet nº 03573, S.E.A., Toronto

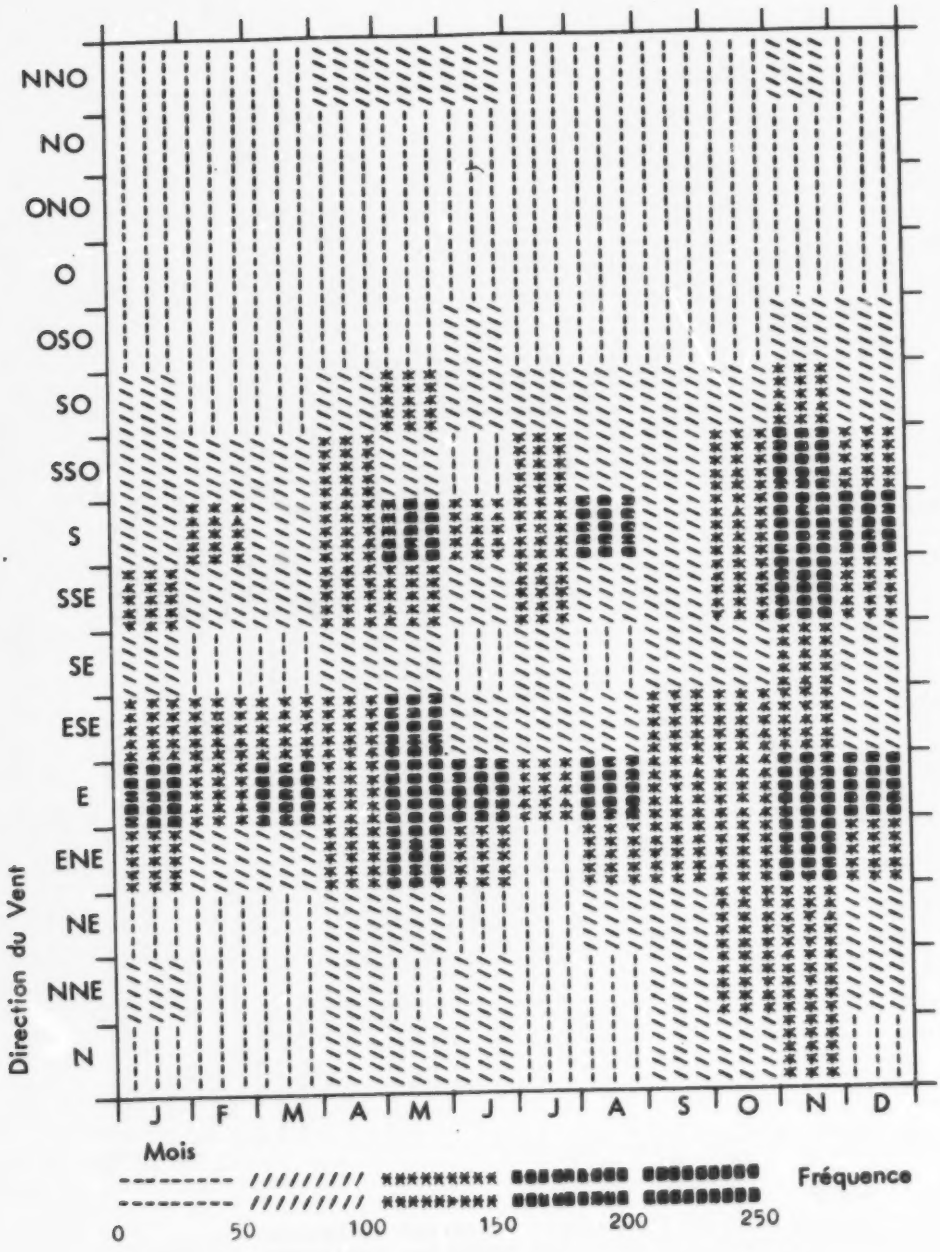


FIGURE A-2

AÉROPORT DE SHEARWATER (DARTMOUTH)
FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS ACCOMPAGNÉS DE PLUIE ET DE PLUIE VERGLAÇANTE

Compilation pour les années 1953 à 1971. Source: Projet nº 03573, S.E.A., Toronto

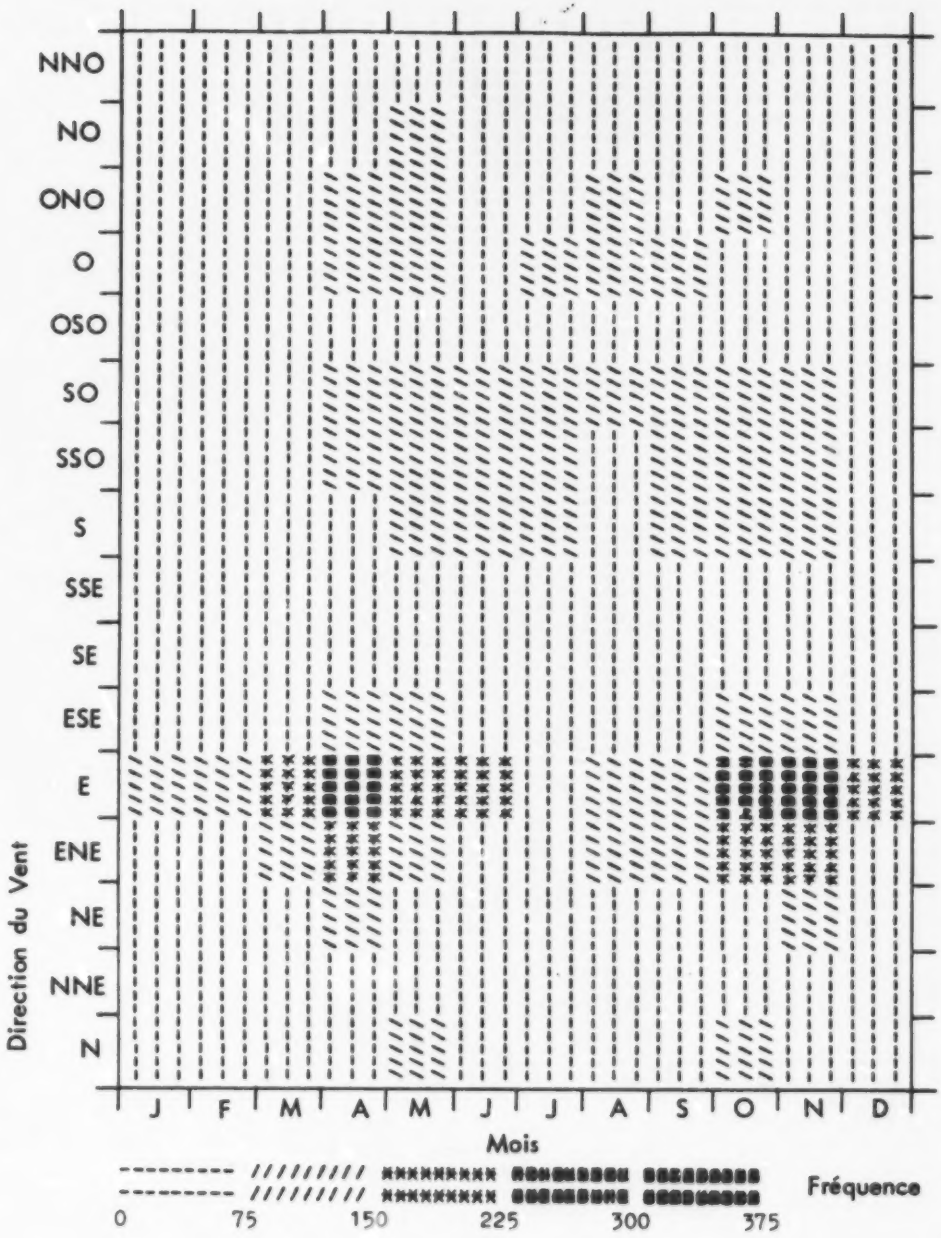


FIGURE A-3

AÉROPORT INTERNATIONAL D'OTTAWA
FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS ACCOMPAGNÉS DE PLUIE ET DE PLUIE VERGLAÇANTE

Compilation pour les années 1953 à 1971. Source: Projet nº 03573, S.E.A., Toronto

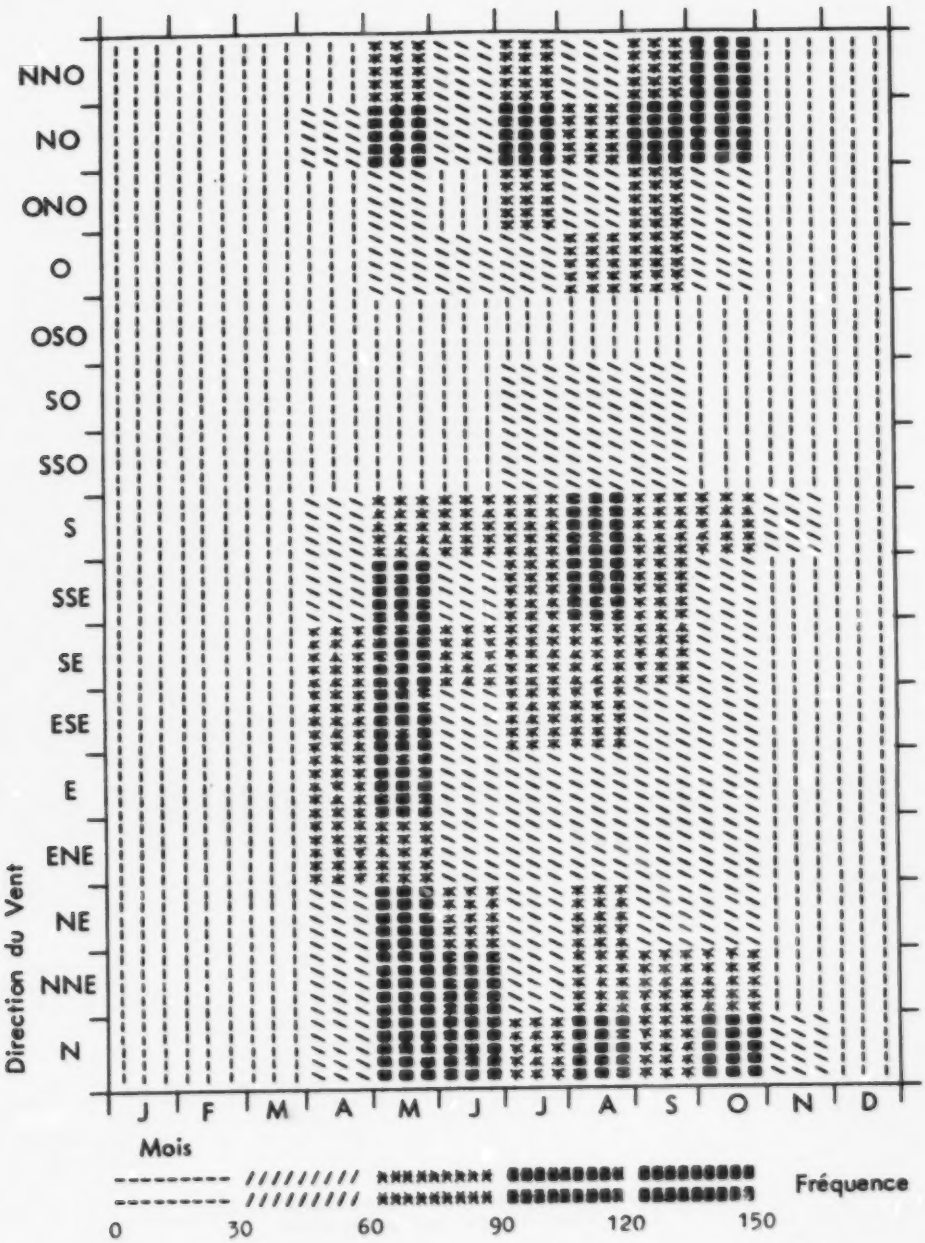


FIGURE A-4

AÉROPORT INTERNATIONAL DE WINNIPEG
FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS ACCOMPAGNÉS DE PLUIE ET DE PLUIE VERGLAÇANTE

Compilation pour les années 1953 à 1971. Source: Projet nº 03573, S.E.A., Toronto

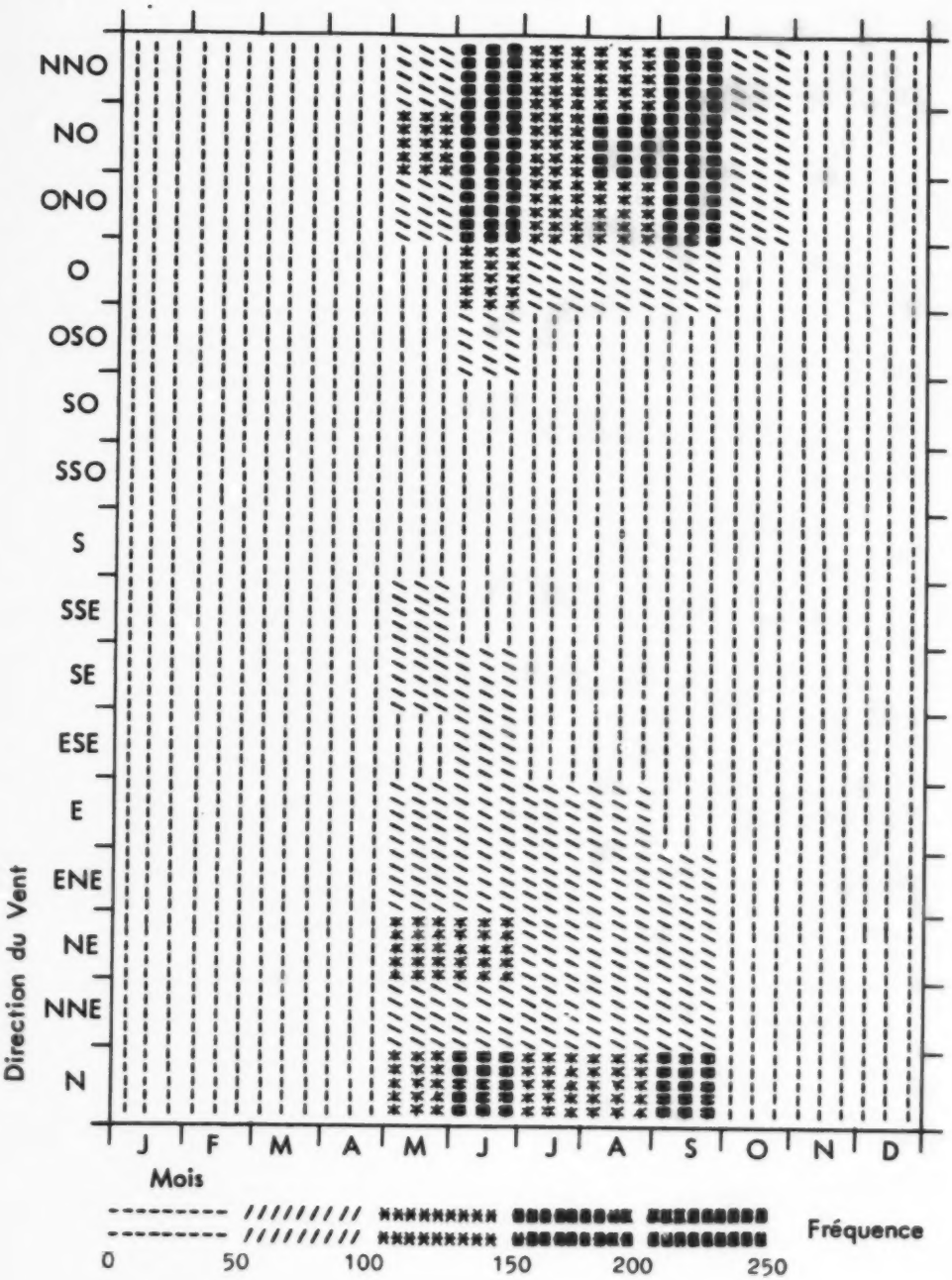


FIGURE A-5

AÉROPORT INDUSTRIEL D'EDMONTON
FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS ACCOMPAGNÉS DE PLUIE ET DE PLUIE VERGLAÇANTE

Compilation pour les années 1953 à 1971. Source: Projet nº 03573, S.E.A., Toronto

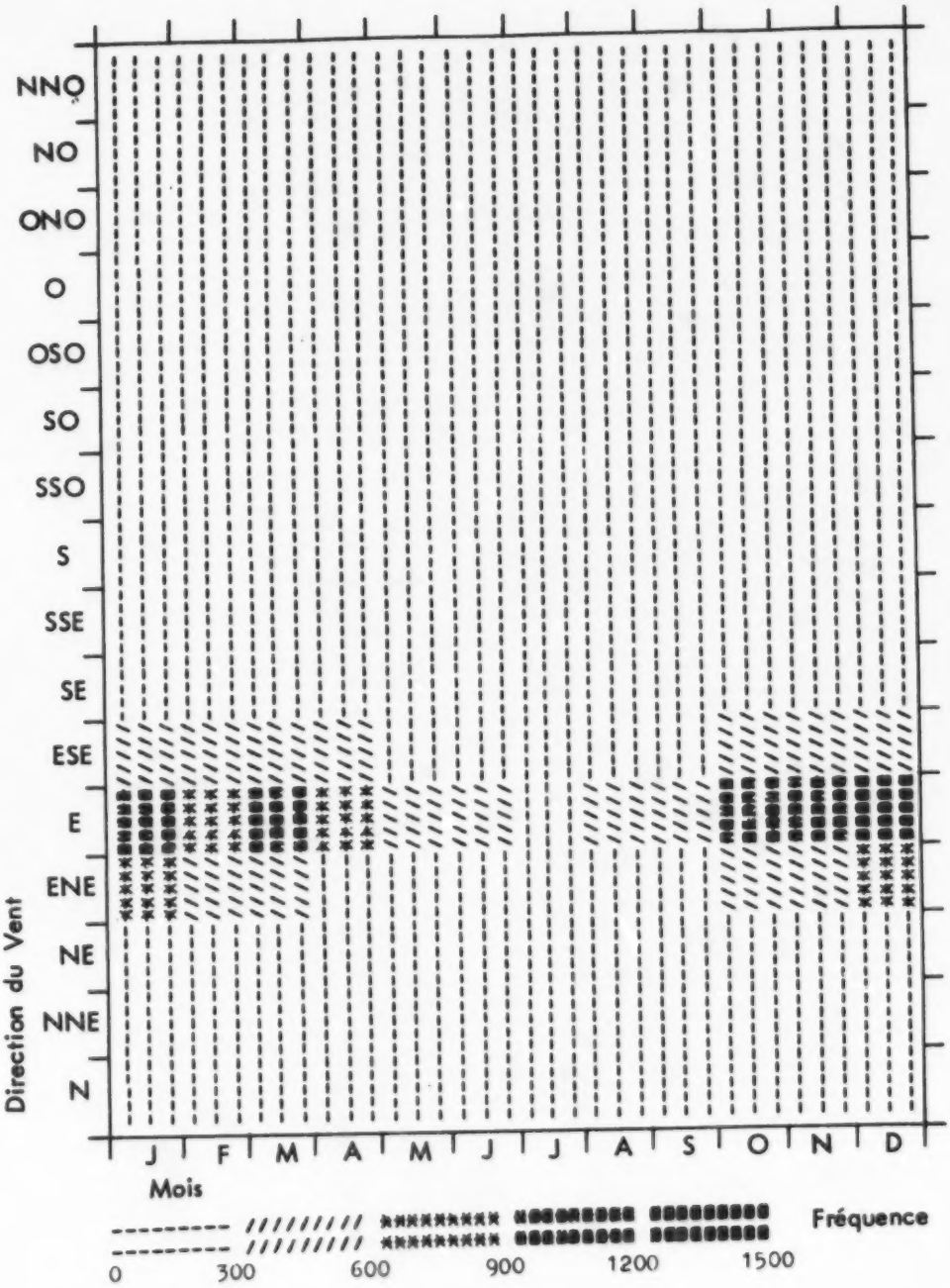


FIGURE A-6

AÉROPORT INTERNATIONAL DE VANCOUVER
FRÉQUENCE ET DIRECTION DES VENTS ACCOMPAGNÉS DE PLUIE ET DE PLUIE VERGLAÇANTE

Compilation pour les années 1953 à 1971. Source: Projet nº 03573, S.E.A., Toronto